МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

# ЗБОРНИК РАДОВА

## SYM-OP-IS 2023

Тара, **18–21. 9. 2023.**

## 50.

## **СИМПОЗИЈУМ**
## О ОПЕРАЦИОНИМ ИСТРАЖИВАЊИМА

**SYM-OP-IS 2023**

**Уредници:**
Дејан Стојковић, Далибор Петровић, Срђан Димић

МЕДИЈА ЦЕНТАР
ОДБРАНА

ЗБОРНИК РАДОВА
SYM-OP-IS 2023

---

Издавач
Медија центар „Одбрана”

Библиотека „Војна књига”
Књига број 2588
Едиција *Зборници*

За издавача
Директор
*Биљана Пашић*, пуковник

Начелник Одељења за издавачку
делатност – Редакција „Војна књига”
*Горан Јањић*, дипл. инж.

Ликовно-графички уредник
*Марија Марић*

Тираж 50 примерака

Штампа
Војна штампарија, Београд

ISBN 978-86-335-0836-0

**50. симпозијум о операционим истраживањима**

# ЗБОРНИК РАДОВА

## SYM-OP-IS 2023

Тара, 18–21. септембар 2023.

**Уредници**:
Дејан Стојковић
Далибор Петровић
Срђан Димић

Београд, 2023.

## ОРГАНИЗАТОРИ:

**Министарство одбране Републике Србије и Војска Србије**

**Висока грађевинско-геодетска школа струковних студија, Београд**

**Економски факултет, Београд**

**Економски институт, Београд**

**Институт „Михајло Пупин”", Београд**

**Математички Институт САНУ, Београд**

**Математички факултет, Београд**

**Рударско-геолошки факултет, Београд**

**Саобраћајни факултет, Београд**

**Технички факултет у Новом Саду**

**Факултет организационих наука, Београд**

# ПРОГРАМСКИ ОДБОР

Др Петровић Далибор, председник, Министарство одбране
Др Алексић Вуле, Висока грађевинско-геодетска школа, Београд
Др Банковић Радоје, Војногеографски институт, Београд
Др Чангаловић Мирјана, Факултет организационих наука, Београд
Др Ћировић Горан, Факултет техничких наука, Нови Сад
Др Давидовић Татјана, Математички институт САНУ, Београд
Др Димитријевић Бранка, Саобраћајни факултет, Београд
Др Дражић Милан, Математички факултет, Београд
Др Ђоровић Бобан, Универзитет одбране, Београд
Др Дугошија Ђорђе, Универзитет у Новом Пазару
Др Јанковић Ирена, Економски факултет, Београд
Др Кочовић Јелена, Економски факултет, Београд
Др Ковачевић Вујчић Вера, Факултет организационих наука, Београд
Др Кратица Јозеф, Математички институт САНУ, Београд
Др Кутлача Ђуро, Институт Михајло Пупин
Др Кузмановић Марија, Факултет организационих наука, Београд
Др Макајић Николић Драгана, Факултет организационих наука, Београд
Др Мартић Милан, Факултет организационих наука, Београд
Др Миљановић Игор, Рударско-геолошки факултет, Београд
Др Младеновић Зорица, Економски факултет, Београд
Др Мученски Владимир, Факултет техничких наука, Нови Сад
Др Нетјасов Феђа, Саобраћајни факултет, Београд
Др Николић Драган, Висока грађевинско-геодетска школа, Београд
Др Петровић Наташа, Факултет организационих наука, Београд
Др Петровић Славица, Економски факултет, Крагујевац
Др Пешко Игор, Факултет техничких наука, Нови Сад
Др Праштало Жељко, Рударски институт, Београд
Др Прерадовић Љубиша, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Универзитет у Бањој Луци
Др Радојевић Драган, Институт Михајло Пупин, Београд
Др Савић Александар, Математички факултет, Београд
Др Савић Гордана, Факултет организационих наука, Београд
Др Шелмић Милица, Саобраћајни факултет, Београд
Др Сорак Милош, Технолошки факултет, Бања Лука
Др Станимировић Зорица, Математички факултет, Београд
Др Станић Станко, Економски факултет, Бања Лука
Др Станојевић Милан, Факултет организационих наука, Београд
Др Станојевић Милорад, Саобраћајни факултет, Београд

Др Старчевић Душан, Факултет организационих наука, Београд
Др Стаменковић Младен, Економски факултет, Београд
Др Стојковић Дејан, Министарство одбране
Др Сукновић Милија, Факултет организационих наука, Београд
Др Урошевић Драган, Математички институт САНУ, Београд
Др Видовић Милорад, Саобраћајни факултет, Београд
Др Вујошевић Мирко, Факултет организационих наука, Београд
Dr Aloise Daniel, Natal University, Brazil
Dr Artiba Abdelhakim, University of Valencia, France
Dr Carrizosa Emilio, University of Sevilla, Spain
Dr Duarte Abraham, Universidad Rey Juan Carlos, Spain
Dr Eremeev Anton, Omsk State University, Russia
Dr Escudero Laureano, Universidad Miguel Hernández, Spain
Dr Hanafi Saïd, University of Valenciennes, France
Dr Hudec Miroslav, University of Economics, Bratislava, Slovakia
Dr Kochetov Yuri, Novosibirsk, Russia
Dr Labbé Martine, Free university of Brussels, Belgium
Dr Melián Batista Belén, University La Laguna, Spain
Dr Migdalas Athanasios, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
Dr Moreno-Perez José A., University of La Laguna, Spain
Dr Papageorgiou Markos, Technical University of Crete, Greece
Dr Raidl Guinter, Vienna University of Technology, Austria
Dr Salhi Said, University of Kent, United Kingdom
Dr Sevaux Marc, University of Southern Brittany, France
Dr Sifaleras Angelo, University of Macedonia, Greece
Dr Sörensen Kenneth, University of Antwerp, Belgium

## ПОЧАСНИ ПРОГРАМСКИ ОДБОР

Др Андрејић Марко, Војна академија, Универзитет одбране, Београд
Др Бацковић Марко, Економски факултет, Београд
Др Батановић Владан, Институт Михајло Пупин, Београд
Др Боровић Синиша, Факултет за дипломатију и безбедност, АИНС, Београд
Др Чабаркапа Обрад, Министарство одбране, Београд
Др Цветковић Драгош, Математички институт САНУ, Београд
Др Ђорђевић Бранислав, Грађевински факултет, Београд
Др Губеринић Слободан, Институт Михајло Пупин, Београд
Др Илић Александар, Министарство одбране, Београд
Др Ковач Митар, Министарство одбране, Београд
Др Месарош Каталин, Економски факултет, Суботица
Др Михаљевић Миодраг, Математички институт САНУ, Београд
Др Миловановић Градимир, Математички институт САНУ, Београд
Др Мучибабић Спасоје, Министарство одбране, Београд
Др Огњановић Зоран, Математички институт САНУ, Београд
Др Оприцовић Серафим, Грађевински факултет, Београд
Др Пап Ендре, Универзитет Сингидунум, Београд
Др Ракић Милан, Институт Михајло Пупин, Београд
Др Вујић Слободан, Рударски институт, Београд
Др Вулета Јово, Економски факултет, Београд
Др Зечевић Томислав, Економски факултет, Београд

## ОРГАНИЗАЦИОНИ ОДБОР

пуковник Владимир Грбић, председник, Министарство одбране
потпуковник др Срђан Димић, секретар, Министарство одбране
пуковник др Лука Злопорубовић, Министарство одбране
пуковник др Дејан Ђорђевић, Војска Србије
потпуковник Александар Панић, Војска Србије
потпуковник Благота Вуковић, Министарство одбране
капетан фрегате Саша Николић, Министарство одбране
војни службеник Радојка Мићовић, Министарство одбране

# НОСИОЦИ ПОВЕЉЕ SYM-OP-IS-a
## за заслуге у развоју операционих истраживања

Божидар Краут (1983)
Алојзиј Ваднал (1983)
Драгослав Марковић (1983)
Бранислав Ивановић (1984)
Љубомир Мартић (1984)
Радивој Петровић (1984)
Јован Петрић (1988)
Сањо Злобец (1990)
Радослав Станојевић (1991)
Светозар Вукадиновић (1993)
Слободан Крчевинац (1993)
Слободан Губеринић (1993)
Јово Вулета (1993)
Вера Ковачевић-Вујчић (1998)
Душан Теодоровић (1998)
Властимир Матејић (2000)
Мирко Вујошевић (2000)
Синиша Боровић (2001)
Томислав Зечевић (2001)
Слободан Вујић (2003)
Драган Радојевић (2006)
Мирјана Чангаловић (2010)
Ненад Младеновић (2010)
Спасоје Мучибабић (2010)
Милан Мартић (2012)
Драгош Цветковић (2013)
Горан Ћировић (2017)
Ђорђе Дугошија (2017)
Милорад Видовић (2019)
Драган Урошевић (2021)
Татјана Давидовић (2023)

# ПРЕДГОВОР

Драги операциони истраживачи,

Са огромним задовољством вам представљамо зборник радова са јубиларног 50. симпозијума о операционим истраживањима - SYM-OP-IS 2023. Овај догађај не само да потврђује нашу континуирану посвећеност операционим истраживањима, већ представља и потврду да операциона истраживања и даље привлаче пажњу у научним и професионалним круговима.

Главни организатори овогодишњег симпозијума су Министарство одбране и Војска Србије, а носилац организације је Управа за стратегијско планирање Сектора за политику одбране Министарства одбране.

Од самог почетка, SYM-OP-IS је служио као центар научног дијалога, размене знања и повезивања међу истраживачима, професионалцима и ентузијастима операционих истраживања. Током протеклих пет деценија, симпозијум је окупљао чланове домаће и међународне академске и научне заједнице са циљем да их мотивише да и даље истражују сложене проблеме унутар операционих истраживања.

Од 1974. године, када је први симпозијум одржан, па све до данас, овај скуп је привукао више од 13.000 аутора који су представили резултате својих истраживања кроз више од 10.000 радова. Ово импресивно наслеђе сведочи о постигнућима и утицају које је SYM-OP-IS остварио током своје историје.

Ове године са поносом саопштавамо да зборник обухвата 157 радова, које је написало 375 аутора. Сваки рад представља не само резултат истраживања и рада појединца, већ и допринос заједници и бољем разумевању проблема којима се баве операциона истраживања. Радови су организовани у 27 стандардних секција које истражују различите аспекте ове дисциплине.

Такође, желимо вас обавестити да смо ове године додали још једну секцију „Историја операционих истраживања - у знак јубилеја“. Кроз ту секцију смо желели истражити наслеђе операционих истраживања, истаћи кључне прекретнице и доприносе, као и да размотримо како су се промене током времена одразиле на ову област.

У знак сећања на преминуле операционе истраживаче, проф. др Светозара Вукадиновића, добитника Повеље и проф. др Катарину С. Вукадиновић, члана Програмског одбора, на почетку зборника су представљене њихове биографије.

Резултати које смо постигли не би били могући без предaности свих учесника, рецензената, аутора и организационог тима који су уложили велики труд како би ова манифестација била успешна. Хвала вам што сте својим радовима допринели успеху јубиларног 50. симпозијума о операционим истраживањима.

Нека овај зборник радова буде инспирација и извор знања за све вас. Кроз разноврсне теме, идеје и приступе, верујемо да ће свако пронаћи нешто што га мотивише да даље истражује, учи и доприноси унапређењу операционих истраживања.

С поштовањем,

Уредници:

**Дејан Стојковић**

**Далибор Петровић**

**Срђан Димић**

# PREFACE

Dear operational researchers,

It is our greatest pleasure to present the conference proceedings for the 50th anniversary of the symposium on operational research SYM-OP-IS 2023. This event signifies our ongoing commitment to operational research and affirms that operational research continues to hold significance within scientific and professional spheres. The principal organizers of this year's symposium are the Ministry of Defence and the Serbian Armed Forces, with the Strategic Planning Department of Defence Policy Sector in charge of the organization.

From the beginning, SYM-OP-IS has been the center of scientific dialogue, knowledge exchange, and connection of researchers, professionals, and enthusiasts in operational research. In the last five decades, the symposium has gathered domestic and international academic and scientific community members to motivate them to research complex problems inside operational research.

From 1974, when the first symposium was held, until today, this event has attracted more than 13.000 authors who presented the results of their research through more than 10.000 papers. This impressive heritage confirms the achievements and influence that SYM-OP-IS has had throughout its history.

This year, we proudly announce that the proceedings includes 157 papers written by 375 authors. Each paper represents not only the result of research and an individual's work but also a contribution to the community and a better understanding of the problems dealt with by operational research. The papers are organized into 27 standard sections that explore different aspects of this discipline.

Also, we would like to inform you that we have added another section in this year’s proceedings, “History of operational research - to mark the anniversary.” Through this section, we wanted to explore the legacy of operations research, highlight key milestones and contributions, and consider how changes over time have affected the field.

In the memory of deceased operational researchers, professor Dr. Svetozar Vukadinović, recipient of the Charter, and professor Dr. Katarina S. Vukadinović, a member of the Programme Committee, biographies are presented at the beginning of the proceedings.

The achieved results could only be accomplished with the dedication of the participants, editors, authors, and the organizing team who put the effort into making this event successful. Thank you for contributing to make this 50th anniversary of the symposium on operational research successful.

Let the proceedings be the inspiration and source of knowledge for us all. Diverse topics, ideas, and approaches will motivate everybody to keep on researching, learning and contributing to advancing operational research.

Yours sincerely,

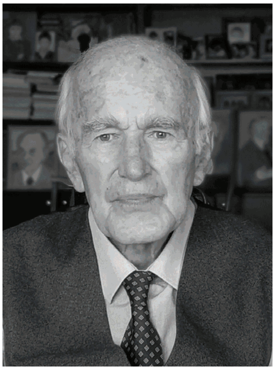
Editors:

**Dejan Stojković**

**Dalibor Petrović**

**Srđan Dimić**

# IN MEMORIAM



## Проф. др СВЕТОЗАР ВУКАДИНОВИЋ
## 1932-2023

***„Не умире онај који је после своје смрти спомен оставио“*** – латинска пословица

Професор Светозар Вукадиновић, који је недавно отишао из наше средине, оставио је вишеслојни траг у својој Теорији вероватноће, на Саобраћајном факултету, у својој породици и у свима нама који се бавимо истом или сличном науком.

Професор Вукадиновић рођен је 1932. године у Нишу. Гимназију је завршио са одличним успехом у Алексинцу. Године 1951. уписао се на Природно математички факултет у Београду, на математичкој групи и дипломирао у року. Војску је одслужио у току 1955/56. године. Школске 1956/57. године радио је као професор математике у Алексинцу, а следеће две школске године наставио је рад као професор математике у средњој Хемијско-технолошкој школи у Београду. У том периоду је положио и стручни испит за професора математике. Школске 1958/59. и 1959/60. године био је стипендиста Савета за просвету и културу СР Србије на последипломским студијама на Природно математичком факултету у Београду, где је под руководством проф. др Драгољуба Марковића проучавао разне области Теорије вероватноће, Математичке статистике и Стохастичких процеса.

Школске 1960/61. као стипендиста Пољске Владе био је на научној специјализацији у Вроцлаву на Семинару примењене математике. На овом Семинару је, под руководством проф. др Јулијана Перкала, започео рад на проучавању људске популације у односу на максимални артеријски крвни притисак. Године 1963. одбранио је на Природно математичком факултету у Београду магистарски рад под називом: „Расподела максималног артеријског крвног притиска у људској популацији.“

Пре одласка у Пољску, а на позив Завода за геолошка и геофизичка истраживања СР Србије, запослио се као стручни саветник и радио на применама Теорије вероватноће и Математичке статистике у геолошким и геофизичким истраживањима. По повратку из Пољске, септембра 1961. године изабран је за асистента за предмет Виша математика на Саобраћајном факултету, а затим децембра 1962. године изабран је за предавача на истом Факултету за предмете: Виша математика и Математичка статистика са економетријом. Године 1967. изабран је за доцента на истом факултету за исте предмете. Реизабран је у звање доцента 1972. на Саобраћајном факултету за предмете: Виша математика и Математичке методе у операционом истраживању. Марта 1979. године проф. Вукадиновић је одбранио докторску дисертацију на Електронском факултету у Нишу, с називом „Прилози раздвајању мешавина статистичких популација“. Јуна 1979. године поново је реизабран за доцента, а крајем 1979. године изабран је за ванредног професора за предмете: Математика I, Математика II, Математичка статистика и Операциона истраживања. За редовног професора за исте предмете биран је 1981. године. Поред наставе, на Саобраћајном факултету је обављао и следеће дужности: продекан за наставу, председник комисије за издавачку делатност, шеф јединице заједничке наставе и шеф Катедре за математичке науке.

Дуго времена изводио је наставу на следећим школама и факултетима: Виша железничка школа, Грађевински факултет у Суботици, Природно-математички факултет у Приштини, Војна академија у Београду као и наставу на последипломским студијама на Саобраћајном факултету, Машинском факултету у Крагујевцу, на Војним академијама у Загребу и Београду и на Грађевинском факултету у Сарајеву.

Иако је остварио завидне научне резултате с обзиром на ондашње време и услове у којима је живео и стварао, његов главни и импозантни животни опус био је више усмерен на наставу и писање уџбеника. У времену када је Саобраћајни факултет тек трасирао свој пут и афирмацију, он је профилисао предмет „Вероватноћа и математичка статистика“ схватајући значај и примену ове математичке дисциплине на проблеме саобраћајне струке. Увео је у саобраћајну струку и предмете који су представљали директну примену Теорије вероватноће и математичке статистике: Математичке методе у саобраћају и транспорту, Операциона истраживања, Теорија масовног опслуживања, Теорија поуздности и обнављање техничких система и др. Многи факултети у ондашњој држави су препознали тај његов иновативни рад у настави и његове уџбенике, па је зато предавао на последипломским студијама (тада трећем степену студија) широм Југославије. Његови уџбеници из Математике и Теорије вероватноће и Математичке статистике имају трајну вредност и даље се користе на факултетима.

Објавио је више уџбеника и књига, самостално и као коаутор, као и велики број радова. Најзначајнији уџбеници (издавачи Научна књига, Привредни преглед, Завод за издавање уџбеника Србије) су му следећи: Масовно опслуживање, Транспортни задатак линеарног програмирања, Елементи теорије поузданости и обнављања техничких система, Математичка статистика, Математичко програмирање, Операциона истраживања, Метода Монте-Карло, Математика 1, Математика 2 са збирком задатака, Вероватноћа и статистика за ученике средњих школа, Збирка решених задатака из математичке статистике, Одабрани задаци за четврти разред средње школе, Случајни процеси и њихова примена у саобраћају и транспорту, Статистика за нематематичке факултете, Математика за трећи разред средњег усмереног образовања саобраћајне струке и Математика за четврти разред средњег усмереног образовања саобраћајне струке.

Научни, стручни, методски и популарни радови које је објавио и саопштио припадају областима Математичка статистика и Операциона истраживања. Од посебног су значаја и његови прилози историји развоја Операционих истраживања у Југославији као и рад на терминолошком речнику из Операционих истраживања. Свој први рад на Симпозијуму о операционим истраживањима је објавио 1974. године.

Поводом 30-годишњице Саобраћајног факултета добио је орден заслуга за народ са сребрном звездом. Добитник је и повеља Друштва операционих истраживача и Друштва математичара Југославије.

На семинарима и конгресима које је организовало Друштво математичара, физичара и астронома Србије, проф. Вукадиновић је учествовао са предавањима из методике наставе Теорије вероватноће и Математичке статистике у средњој и основној школи. Такође је учествовао у раду Републичке комисије за образовање у реформи средњег усмереног образовања. Саставио је програм математике за средње саобраћајне школе и написао одговарајуће уџбенике. Био је главни и одговорни уредник Зборника радова наставника и сарадника Факултета и Монографије посвећене историјату Саобраћајног факултета. Био је члан програмског одбора SYM-OP-IS-a. Пензионисан је 1. октобра 1997. године, а овоземаљски живот је завршио 18. марта 2023. године. Његово стваралаштво остаје као подстрек, узор и мера вредности његовим бившим студентима - саобраћајним инжењерима, а такође и садашњим и будућим студентима саобраћаја.

# IN MEMORIAM

## Проф. др КАТАРИНА С. ВУКАДИНОВИЋ

## 1961-2023

У суботу 4. марта 2023. године, у 62. години живота, изненада је преминула др Катарина Вукадиновић, дипл инж. саобраћаја, редовни професор Универзитета у Београду – Саобраћајног факултета и дугогодишњи члан Програмског одбора SYMOPIS-а.

Катарина Вукадиновић је рођена 1. јуна 1961. године у Београду. Одрастала је у просветитељској породици, у којој је мајка Јулија била уважена професорка нацртне геометрије у Математичкој гимназији, а отац Светозар професор Вероватноће и статистике и Операционих истраживања на Саобраћајном факултету.У родном граду Катарина завршава основну школу и Математичку гимназију са одличним успехом.

Студије на Универзитету у Београду - Саобраћајном факултету, Катарина Вукадиновић, започиње 1979. године, на Одсеку за друмски саобраћај и транспорт, да би потом прешла на Одсек за речни и поморски саобраћај на коме је и дипломирала 1985. године са просечном оценом 9,50 одбранивши дипломски рад под називом „Одређивање најповољнијих димензија канала Дунав-МКС са гледишта техничке експлоатације бродова за снабдевање металуршког комбината Смедерево (МКС)“. Универзитет у Београду ју је три пута награђивао за изузетан успех током студија, када је учествујући и у међународној размени студената провела два месеца на стручној пракси на Институту за путеве у Копенхагену.

По завршетку студија, у периоду 1986-1987. године, Катарина је као млад инжењер провела 15 месеци у радном односу у Предузећу за водне путеве „Иван Милутиновић-ПИМ“. Пловила је Дунавом и осталим рекама и радо се присећала тог времена у коме је стекла врло значајна практична знања о водном саобраћају и транспорту, а непосредан контакт са водом и „бродарима“ утицао је да додатно заволи струку, у којој одлучује да се даље усавршава.

Последипломске студије на Одсеку за водни саобраћај и транспорт, Катарина Вукадиновић уписује 1988. године и завршава 1993. године са просечном оценом 10, одбранивши магистарску тезу под називом „Моделирање превоза речном потискиваном флотом применом Теорије фази скупова”. Докторску дисертацију „Управљање процесима у водном саобраћају коришћењем Теорије фази скупова и неуронских мрежа са применом на друге видове саобраћаја”, одбранила је 1997. године, под менторством академика Душана Теодоровића, такође на Саобраћајном факултету.

Паралелно са уписивањем Последипломских студија, Катарина започиње своју пословну академску каријеру на Саобраћајном факултету, где је бирана у сва звања, почев од асистента приправника 1988. године, до редовног професора 2010. године.Током последње деценије XX века одлазила је на усавршавања на универзитете у иностранству на којима је стицала пионирска знања о применама рачунарске интелигенције у решавању сложених саобраћајних проблема, која ће после несебично делити са колегама и студентима. На

Институту за саобраћај Техничког факултета у Копенхагену провела је три месеца на специјализацији током 1989. године. На Универзитету у Делаверу је као студент докторских студија, од 1992. до 1994. године, била ангажована на држању вежби на предмету „Системска анализа” и изради две студије, док је у Центру за напредне технологије Универзитета Јужне Калифорније провела у звању истраживача школску 1999/2000. годину учествујући у изради две студије.

Проф. Катарина Вукадиновић посебно се истицала у посвећености настави и студентима. Развијала је и предавала предмете на свим нивоима студија. На основним академским студијама била је ангажована на предметима: „Операциона истраживања“, „Организација и експлоатација лука и пристаништа“, „Лучко пројектовање и управљање“, „Планирање и развој лука и пристаништа“ и „Лучки оптимизациони модели“; на мастер: „Модели за саобраћајно технолошко пројектовање лучких терминала“, „Детерминистички модели операционих истраживања“ и „Квантитативне менаџмент методе у транспорту и комуникацијама“; и на докторским академским студијама: „Модели за саобраћајно технолошко пројектовање и управљање речним и морским лукама“, „Системи за подршку одлучивању у саобраћају и транспорту“ и „Фази системи са применама у саобраћају и транспорту“. Велики допринос дала је као ментор бројним студентима и као члан комисија за оцену и одбрану њихових дипломских, завршних, магистарских и мастер радова. Била је ментор при изради шест докторских теза и члан једанаест Комисија за њихову оцену и одбрану. Проф. Катарина Вукадиновић није студентима била само предавач и/или ментор, она се интересовала за њихове потребе, проблеме и даље професионалне судбине. Велики је број студената који су се на основу њених познанстава и препорука запослили и/или добили прилику да се усавршавају и остваре завидне каријере на универзитетима у иностранству. Бројним колегама била је у комисијама за избор у наставничка и сарадничка звања.

Током свог стваралачког рада проф. Катарина Вукадиновић објавила је више од 100 научних и стручних радова, од чега је четрнаест у врхунским међународним научним часописима, а остали у домаћим часописима и зборницима са међународних и националних конференција. Они су доминантно посвећени примени операционих истраживања и рачунарске интелигенције у решавању сложених проблема организације и експлоатације лука и пристаништа, али и других саобраћајних и транспортних проблема. Коаутор је три националне монографије и једне међународне под називом „Traffic Control and Transport Planning: A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach“, у издању Springer Science & Business Media. Према бази Google Scholar, укупна цитираност проф. Вукадиновић у светској литератури износи 930 и индекс научне компетентности је h = 13.

Проф. Катарина Вукадиновић је руководила израдом две студије и једног технолошког пројекта и учествовала у изради око 40 студија и пројеката. Именована је 2000. године у звање заменика сталног представника Србије и Црне Горе у Дунавској комисији са седиштем у Будимпешти. Учествовала је у изради Стратегије развоја водног саобраћаја Републике Србије од 2015. до 2025. године. Била је члан Инжењерске коморе Србије и дугогодишњи известилац Републичке ревизионе комисије за стручну контролу техничке документације. Била је члан Савета Саобраћајног факултета у три мандата и Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду. Обављала је дужност продекана за последипломске студије, шефа Одсека за водни саобраћај и транспорт и шефа Здружене катедре за бродове и бродску енергетику, организацију рада бродова и пристаништа и пловне путеве у више мандата. Била је члан Програмских одбора конференција SYMOPIS и LOGIC.

У програмском одбору SYMOPIS-а, проф. Катарина Вукадиновић је од 2008. године. Деценијама је редовно учествовала у раду SYMOPIS-а и подстицала млађе колеге да то чине. Уредник је Зборника радова из 2008, 2014. и 2020. године.

Проф. Катарина Вукадиновић, поред својих наставних, научних и стручних резултата, остаће упамћена по својој посвећености, ненаметљивости и несебичном давању енергије и времена многим људима у свом окружењу. Неизмерну љубав пружала је сину Михаилу, породици и пријатељима.

# САДРЖАЈ

# НОСИЛАЦ ПОВЕЉЕ
# CHARTER HOLDER

ТАТЈАНА ДАВИДОВИЋ

## ТАТЈАНА ДАВИДОВИЋ

научни саветник Математичког института САНУ

Др Татјана Давидовић дипломирала је, магистрирала и докторирала на Математичком факултету Универзитета у Београду. У периоду 1987-1993. године др Татјана Давидовић је радила у Лабораторији за роботику Института Михаило Пупин на проблемима везаним за управљање беспилотним летелицама, роботима и роботским системима. У том периоду била је спољни сарадник Математичког института САНУ, ангажована на пројекту вештачке интелигенције у оквиру којег је радила на имплементацији аутоматских доказивача теорема. Од 1993. године др Татјана Давидовић је запослена у Математичком институту САНУ, где је прошла изборе у сва истраживачка и научна звања. У звање научни саветник за област рачунарство изабрана је 2018. године. Члан је и технички је секретар Југословенског удружења за примењену и индустријску математику (ЈУПИМ) од 2000. године. У децембру 2021. године изабрана је за члана Одељења природно-математичких наука Научног друштва Србије.

Др Давидовић ради на моделирању разних проблема комбинаторне оптимизације, имплементацији и паралелизацији алгоритама за њихово решавање. Бави се и развојем метахеуристичких и хибридних метода оптимизације, теоретском и експерименталном анализом ефикасности секвенцијалних и паралелних алгоритама, проблемима рутирања возила, проблемима распоређивања у рачунарству и транспорту, локацијским проблемима као и проблемима континуалне оптимизације. Радила је и на испитивању поузданости редундантних система применом стохастичких симулација, као и на примени спектралне теорије графова у рачунарству на дизајн и анализу ефикасних и поузданих вишепроцесорских система. Током своје истраживачке каријере, др Давидовић је остварила значајну међународну сарадњу, како са иностраним истраживачима, тако и са научницима из Србије који живе и раде у иностранству. Сарађује са еминентним истраживачима из Канаде, Бразила, Аустралије, Италије, Француске, Русије, Грчке, Марока и Сједињених Америчких Држава.

Најзначајнији резултати које је др Давидовић остварила везани су за доприносе развоју и паралелизацији метахеуристичких метода Оптимизације колонијом пчела (Bee Colony Optimization, BCO) и Методе променљивих околина (Variable Neighborhood Search, VNS) које су предложили истраживачи из Србије, као и резултати објављени на тему распоређивања задатака у рачунарским системима. О томе је држала предавања по позиву на међународним конференцијама и у научним институцијама широм света. Резултате истраживања публиковала је у престижним научним часописима као што су *OMEGA, Computers and Operations Research, Applied Soft Computing, Applied Mathematical Modelling, Applied Mathematics and Computation, Journal of Heuristics, Annals of Mathematics and Artificial Intelligence, International Journal on Artificial Intelligence Tools, Operational Research, Optimization, Symmetry, ITOR, IJAIT, APJOR*. Аутор је или коаутор 5 поглавља у монографијама међународног значаја, 37 радова у међународним часописима, од чега 27 у часописима са СЦИ листе, 37 радова у зборницима радова са међународних конференција и 51-ног рада у зборницима са националних конференција. Према бази Google Scholar радови др Давидовић цититани су 1270 пута (550 пута без аутоцитата), а њен h индекс је 18.

Др Давидовић је учестововала у националним пројектима које финансира Влада Републике Србије непрекидно од 1987. године. У периоду 2016-2019. године била је руководилац пројекта 174033: *Теорија графова и математичко програмирање са применама у хемији и рачунарству* финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Била је руководилац пројекта AI4TrustBC: *Напредне технике вештачке* *интелигенције за анализу и дизајн системских компоненти базираних на поузданој блокчејн технологији* (2020-2023.), првом пројекту који је Математичком институту САНУ одобрен за финансирање од стране Фонда за науку Републике Србије. Руководила је и пројектом *Development of innovative AI based solution for a Blockchain technology in Maritime Supply chain* (ABMarSupply), који је финансиран преко H2020 SMART4ALL - 3rd KTE програма у периоду октобар-децембар 2022. године. Учествовала је и у међународним пројектима Математичког института САНУ: DEUKS-TEMPUS, у билатералним пројектима са Републиком Словенијом и са Републиком Хрватском, а руководила је билатералним пројектом *The Development of Hybrid Heuristics for Combinatorial Optimization Problems* из *Павле Савић* програма сарадње између Републике Србије и Републике Француске у периоду 2016-2017. године.

Др Давидовић је од 2013. године ангажована на студијском програму *Математика у техници* докторских студија Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду. Укључена је и у рад *Докторске школе математике*. Била је ментор или коментор за 6 докторских дисертација, као и члан бројних комисија за докторске кандидате и кандидате за изборе у звања, не само на Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду, већ и на Саобраћајном и Математичком факултету Универзитета у Београду, као и на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу. Учествовала је и у организацији докторских курсева из области алгоритама, комбинаторике и оптимизације који су два циклуса за редом (у периоду 2010-2014. године) држани у Математичком институту САНУ за студенте са разних универзитета у Србији. Од оснивања летње праксе за студенте редовних и последипломских студија 2020. године, била је ментор за 11 успешних кандидата. Члан је комисије за доделу Годишњих награда Математичког института САНУ за мастер радове у области рачунарства. Учествује редовно у манифестацији М3 - Мај Месец Математике и кроз предавања и интервјуе доприноси популаризацији математике. Активно учествује у раду Одељења за математику (вишегодишњи секретар) и Одељења за рачунарство и примењену математику (заменик управника), као и више тематских семинара Математичког института САНУ.

Др Давидовић је редован учесник СИМ-ОП-ИС-а од 1998. године. Ко-председник Организационог одбора била је 2003. године и од тада је активно учествовала у организацији скупа и то не само када је Математички институт САНУ био главни организатор. Од 2015. је члан Програмског одбора СИМ-ОП-ИС-а. Мотивисала је многобројне домаће и иностране истраживаче, а посебно докторанте и друге младе колеге да се укључе у рад симпозијума. Као члан програмског и/или организационог одбора, учествовала је у организацији значајних домаћих и међународних скупова (BALCOR, FutureTech, InfoTech, ICTTE, ICVNS, OPTIMA, MOTOR, ICORES, SGA 2016). Др Давидовић је члан уређивачког одбора часописа IJTTE и YUJOR. Рецензирала је велики број радова за међународне и домаће часописе и конференције, као и пројекте министарства науке Републике Словачке.

проф др Вера Ковачевић Вујчић
проф. др Мирјана Чангаловић
академик Драгош Цветковић

# УВОДНА ПРЕДАВАЊА
# PLENARY LECTURES

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# 50 ГОДИНА СИМПОЗИЈУМА О ОПЕРАЦИОНИМ ИСТРАЖИВАЊИМА, SYM-OP-IS

# 50 YEARS OF THE SYMPOSIUM OF OPERATIONAL RESEARCH, SYM-OP-IS

МИРЈАНА ЧАНГАЛОВИЋ [1], МИЊА МАРИНОВИЋ [1]
[1] Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд,
mirjana.cangalovic@alumni.fon.bg.ac.rs, minja.marinovic@fon.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Овај рад представља прилог и сажети приказ неких чињеница значајних за историју Симпозијума о операционим истраживањима (SYM-OP-IS), који је припремљен поводом 50 година Симпозијума. С обзиром да је SYM-OP-IS, свих 50 година свог постојања, играо кључну улогу у развоју операционих истраживања на нашим просторима, изложени приказ представља значајан прилог и историји развоја операционих истраживања у Србији, као и у бившој Југославији (детаљнији подаци о свакој од 50 одржаних конференција могу се наћи на сајту SYM-OP-IS-а).*

*Прве организоване активности на окупљању операционих истраживача Југославије, као и на успостављању њихове међусобне сарадње, започеле су почетком 60-тих година прошлог века.*

*Једна од таквих активности је било организовање рада Сталне конференције за управљање пословним системима (СКУПС) која је основана 1967. године и од 1968. до 1974. редовно одржавана у Врњачкој Бањи. На неким секцијама СКУПС-а саопштавани су радови из области ОИ и њихових примена (нпр. на секцији Планирање и оптимизација у пословном систему).*

*Године 1974., уз последњу конференцију СКУПС-а , одржан је први Југословенски симпозијум о операционим истраживањима на иницијативу и у организацији операционих истраживача из Института “Михајло Пупин” из Београда и Института за економику индустрије из Београда (касније Економски институт). Следеће 1975. године се први пут формира Програмски одбор Симпозијума, а 1976. и Факултет организационих наука постаје један од суорганизатора SYM-OP-IS-а.*

---

## I Симпозијум о операционим истраживањима, SYM-OP-IS 1974

**Место и датум одржавања:** Херцег Нови, 22 - 24. 10.
**Организатори:** Институт "Михајло Пупин", Београд; Институт за економику индустрије, Београд
**Зборник радова:** Формат: Б5; Број страна: 512; Укупан број радова: 39; Укупан број аутора: 48

**Организациони одбор:**
- Радивој Петровић, председник
- Божидар Аџић, секретар
- Пава Животић
- Слободан Крчевинац
- Слободан Радоман
- Властимир Матејић

## II Симпозијум о операционим истраживањима, SYM-OP-IS 1975

**Место и датум одржавања:** Херцег Нови, 22 - 24. 10.
**Организатори:** Институт "Михајло Пупин", Београд; Институт за економику индустрије, Београд
**Зборник радова:** Формат: Б5; Број страна: 224; Укупан број радова: 49

**Програмски одбор:**

- Алојзиј Ваднал
- Драгослав Мирковић
- Јован Петрић
- Љубомир Мартић
- Милојко Јерић
- Радивој Петровић
- Радослав Станојевић
- Тодор Кралев

**Организациони одбор:**

- Слободан Крчевинац, председник
- Божидар Аџић
- Јелка Лекић
- Пава Животић
- Радивој Петровић
- Радослав Станојевић

## III Симпозијум о операционим истраживањима, SYM-OP-IS 1976

**Место и датум одржавања:** Херцег Нови, 20 - 22. 10.
**Организатори:** Институт "Михајло Пупин", Београд; Институт за економику индустрије, Београд; Факултет организационих наука, Београд
**Зборник радова:** Формат: Б5; Број страна: 473; Укупан број радова: 34; Укупан број аутора: 58
**Програмски одбор:**

- Алојзиј Ваднал
- Драгослав Мирковић
- Јован Петрић
- Љубомир Мартић
- Радивој Петровић
- Слободан Крчевинац
- Тодор Кралев
- Томислав Зечевић

**Организациони одбор:**

- Божидар Аџић, председник
- Александар Шенборн
- Данило Обрадовић
- Јово Вулета
- Обрад Микић
- Слободан Радоман
- Вера Ковачевић

Током свих ових година постојања број званичних организатора Симпозијума је константно растао и данас их има 13. Њих чине еминентне академске и научне установе које се успешно баве теоријским развојем операционих истраживања и њиховим применама у пракси.

Из редова ових установа бира се сваке године главни организатор Симпозијума за ту годину.

## ОРГАНИЗАТОРИ

- Институт “Михајло Пупин”, Београд, од 1974
- Институт за економику индустрије (касније Економски институт), Београд, од 1974
- Факултет организационих наука, Београд, од 1976
- Саобраћајни факултет, Београд, од 1987
- Економски факултет, Београд, од 1990
- Рударско-геолошки факултет, Београд, од 1993
- ДОПИС- Друштво операционих истраживача Србије, од 1995
- Министарство одбране, Војска Србије , од 1999
- Математички факултет, Београд, од 2000
- Математички институт, Београд, од 2003
- Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, од 2011
- Машински факултет, Титоград, 1985
- Економски факултет, Загреб, од 1989 до 1991
- Машински факултет, Београд, од 1998 до 2010
- Универзитет у Бања Луци, од 2013
- Факултет техничких наука, Нови Сад, од 2014

## ГЛАВНИ ОРГАНИЗАТОРИ (од 1986.)

- Факултет организационих наука, 7 пута (86, 90, 94, 99, 2007, 2013, 2019)
- Економски институт, 2 пута (87, 97)
- Институт "Михајло Пупин", 4 пута (88, 92, 98, 2006)
- Саобраћајни факултет, 6 пута (89, 93, 2000, 2008, 2014, 2020)
- Економски факултет, 6 пута (91, 96, 2005, 2011, 2018, 2022)
- Рударско-геолошки факултет, 2 пута (95, 2004)
- Министарство одбране, Војска Србије, 4 пута (2001, 2010, 2016, 2023)
- Институт за истраживања и пројектовања у привреди, Машински факултет, 2002
- Математички институт, 4 пута (2003, 2009, 2015, 2021)
- Висока грађевинско-геодетска школа, 2 пута ( 2012, 2017)
- Математички факултет, 2 пута (2015,2021)

Укупан број места у којима је до сада организован и реализован Симпозијум је 17. Првих 14 година свог постојања Симпозијум је одржаван у Херцег Новом.

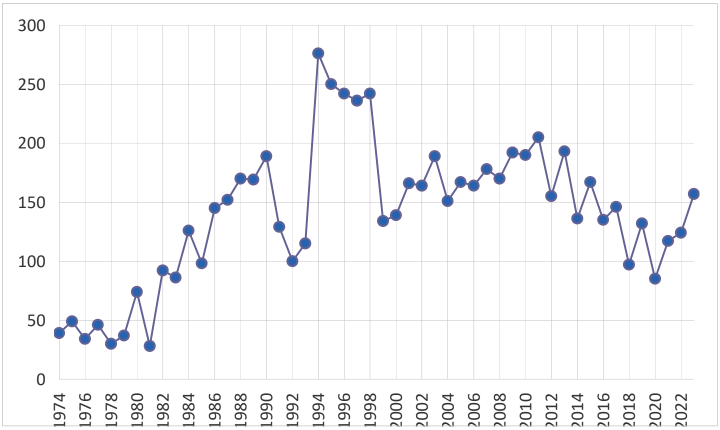
## МЕСТА ОДРЖАВАЊА

- Херцег Нови – 1974- 1987, 1991, 1998, 2003
- Бриони - 1988
- Купари - 1989, 1990
- Београд - 1992, 1993, 1999, 2000, 2001, 2020
- Котор - 1994
- Доњи Милановац – 1995
- Златибор - 1996, 2007, 2011, 2013, 2017, 2018
- Бечићи – 1997
- Тара - 2002, 2010, 2012, 2016, 2023

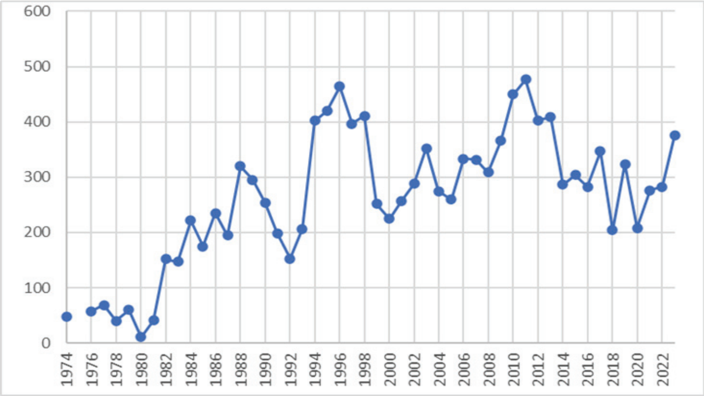
- Фрушка Гора – 2004
- Врњачка Бања – 2005, 2022
- Бања Ковиљача - 2006, 2021
- Соко Бања – 2008
- Ивањица - 2009
- Дивчибаре – 2014
- Сребрно језеро - 2015
- Кладово – 2019

Укупан број радова објављених у зборницима радова Симпозијума, закључно са 2023. годином, је 10007, док укупан број аутора ових радова износи 12855.

У периоду до распада Југославије, иако су организатори Симпозијума били углавном из Србије, односно из Београда, учесници и аутори радова били су из свих крајева некадашње земље, тако да је Симпозијум у том периоду имао општејугословенски карактер. Његово организовање и редовно одржавање представљало је тада кључни тренутак за успешан развој и примену метода ОИ на овим просторима.



**Слика 1:** Број радова по годинама



**Слика 2:** Број аутора по годинама

Симпозијум, кроз своје програме и секције, годинама континуирано прати развој савремених области операционих истраживања, како теоријских, тако и области разнородне примене. Тренутно се радови организују у 30 секција, почевши од оних класичних (на пример, Математичко програмирање) до врло актуелних области (Меко рачунарство, Наука о подацима, Пословна аналитика).

Полазећи од укупног броја објављених радова по појединим областима, до сада је на Симпозијуму објављено највише радова из области Саобраћај и транспорт, Војне примене и Информациони системи.

## Укупан број радова по областима (од 1985. до 2023.)

- ➢ Саобраћај и транспорт 469 радова (од 1985.)
- ➢ Војне примене 443 рада (од 1985.)
- ➢ Информациони системи 436 радова (од 1985.)
- ➢ Математичко програмирање 319 радова (од 1985.)
- ➢ Логистика, поузданост 317 радова (од 1985.)
- ➢ Економски модели и економетрија 262 рада (од 1986.)
- ➢ Финансије 246 радова (од 1990.)
- ➢ Рударство и геологија 241 рад (од 1989.)
- ➢ Вишекритеријумска анализа и оптимизација 224 рада (од 1985.)
- ➢ Системи за подршку одлучивању 205 радова (од 1986.)
- ➢ Комбинаторна оптимизација, графови и мреже 182 рада (од 1986.)
- ➢ Симулација и стохастички системи 178 радова (од 1985.)
- ➢ Управљање производњом 173 рада (од 1985.)
- ➢ Статистички модели 164 рада (од 1988.)
- ➢ Фази скупови, меко рачунање 121 рад (од 1992.)
- ➢ …

Од 1983. године Програмски одбор Симпозијума установио је Повељу за заслуге у развоју и примени операционих истрживања која се додељује домаћим најистакнутијим истраживачима из области операционих истрживања, а уручује током рада Симпозијума. До сада је ово признање добио 31 операциони истраживач.

## ДОБИТНИЦИ ПОВЕЉЕ

- ➢ 1983 Краут Божидар, Ваднал Алојзиј, Мирковић Драгослав
- ➢ 1984 Ивановић Бранислав, Мартић Љубомир, Петровић Радивој
- ➢ 1988 Петрић Јован
- ➢ 1990 Злобец Сањо
- ➢ 1991 Станојевић Радослав
- ➢ 1993 Вукадиновић Светозар, Крчевинац Слободан, Губеринић Слободан, Вулета Јово
- ➢ 1998 Ковачевић-Вујчић Вера, Теодоровић Душан
- ➢ 2000 Матејић Властимир, Вујошевић Мирко
- ➢ 2001 Боровић Синиша, Зечевић Томислав
- ➢ 2003 Вујић Слободан
- ➢ 2006 Радојевић Драган
- ➢ 2010 Чангаловић Мирјана, Младеновић Ненад, Мучибабић Спасоје
- ➢ 2012 Мартић Милан

- ➢ 2013 Цветковић Драгош
- ➢ 2017 Ђорђе Дугошија, Горан Ћировић
- ➢ 2019 Милорад Видовић
- ➢ 2021 Драган Урошевић
- ➢ 2023 Татјана Давидовић

Од 2013. године Симпозијум се реализује као национална конференција са међународним учешћем, да би 2015. добио статус међународне научне конференције. У раду Симпозијума учествовао је и велики број аутора из иностранства. Своја предавања по позиву су држали најпознатији стручњаци из области ОИ из целог света.

## СТРАНИ ГОСТИ И ПОЗВАНИ ПРЕДАВАЧИ

- Hans-Juergen Zimmerman
- Jean Pierre Brans
- Bernard Roy
- Pierre Hansen
- Jacob Krarup
- Dominique de Werra
- Attila Chikan
- Jonathan Rosenhead
- Tony Christer
- Ray Paul
- Costas Pappis
- Rainer Burkhard
- Alexis Tsoukias
- George Nemhauser
- Byron Papathanasiou
- Vangelis Pashos
- Laureano Escudero
- Francois Soumis
- Sanjo Zlobec

Сарадња међу истраживачима која се остваривала током рада Симпозијума, као и размена њихових теоријских и практичних знања, омогућила је иницирање неких активности изузетно важних за даљи развој операционих истрживања на нашим просторима, као и за њихово признавање у свету.

## ИНИЦИРАНЕ АКТИВНОСТИ

- Објављивање **Терминолошког речника из операционих истраживања**, 1983., на 4 светска језика и 6 језика народа и народности, на њему су сарађивала 64 операциона истраживача из целе некадашње земље.
- Формирање **Библиотеке "Операциона истраживања и информациони системи"**, у оквиру ове библиотеке је од 1983. до сада објављено више од 40 књига.
- Оснивање међународног научног часописа о операционим истраживањима **YUJOR (Yugoslav Journal of Operations Research)**, часопис излази од 1991., издавачи: 8 еминентних факултета и научних института, чланови Издавачког одбора и рецензенти: најугледнији светски стручњаци из области операционих истрживања.
- Оснивање **Друштва операционих истраживача (ДОПИС)**, формирано прво 1982. као секција у оквиру југословенског друштва ЕТАН, а од 1994. као самостално друштво, члан је европске и светске међународне асоцијације за OI- EURO и IFORS.

Под окриљем Симпозијума остваривала се и сарадња операционих истраживача Србије са европским и светским операционим истраживачима и њиховим институцијама. У оквиру ове сарадње наши истраживачи су били организатори једне европске и две мини европске конференције о операционим истрживањима, као и три балканске конференције о операционим истрживањима.

**<u>МЕЂУНАРОДНА САРАДЊА</u>**

- Организовање X European Conference on OR, EURO 10, у Београду 1989.
- Организовање мини европских конференција:
    - III Mini Euro conference, OR methods in transport planning and traffic control, Херцег Нови, 1987.
    - IX Mini Euro conference, Fuzzy sets in Traffic and Transport Systems, Будва, 1997.
- Организовање Балканских конференција о ОИ:
    - VIII Balkan Conference on Operational Research, Београд/Златибор, 2007
    - XI Balkan Conference on Operational Research, Београд/Златибор, 2013
    - XIII Balkan Conference on Operational Research, Београд, 2018

Балканске конференције 2007. и 2013. су организоване и одржане заједно са SYM-OP-IS-ом.

- Више од 10 наших младих операционих истраживача учествовало је, на позив европске асоцијације EURO, у раду EURO летњих и зимских института (школа), на којима су као предавачи били позивани и угледни професори из области операционих истрживања из Србије.

Наведене активности које је Симпозијум остварио током своје, 50 година дуге, историје, говоре о његовом изузетном значају за развој, популаризацију и примену операционих истрживања у нашој средини. Он је увек био, а и на даље ће бити, место за размену актуелних научних и стручних знања, развој и проверу нових идеја, као и место образовања младих истраживача и излагања њихових првих радова. Зато је SYM-OP-IS увек био инспирација и мотивација бројним истраживачима који су, током ових година, учествовали у његовом раду. Судећи према и даље знатном броју годишње изложених радова и њихових аутора, Симпозијум ће то бити и за будуће генерације наших операционих истраживача.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Вујошевић, М., и Петрић, Ј. (1997). Operational Research and its Applications in Yugoslavia, IV BALCOR conference, Солун.

[2] Вукадиновић, С. (1993). 20 година SYM-OP-IS-а и 53 године ОИ у нас, SYM-OP-IS’93, Београд, 8-17

[3] Група аутора. (2019). Јован Петрић – живот и дело, Факултет организационих наука, Београд.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# МЕТАХЕУРИСТИЧКИ ПРИСТУП ОПТИМИЗАЦИОНИМ ПРОБЛЕМИМА

# METAHEURISTIC APPROACH TO OPTIMIZATION PROBLEMS

ТАТЈАНА ДАВИДОВИЋ[1]
[1] Математички институт САНУ, Београд, tanjad@mi.sanu.ac.rs

---

***Резиме:*** *Многи проблеми у свакодневном животу представљају проблеме оптимизације. Примери таквих проблема су кућне посете пацијентима, достава робе корисницима, планирање локација за разне услужне објекте и сл. Њихова поставка често подразумева једноставну формулацију, али је проналажење решења веома тешко. Оптимизација се бави проналажењем оптималног (најбољег) или барем неког довољно доброг решења за разматрани проблем. Постоји много метода за оптимизационе проблеме, које се грубо могу поделити на егзактне и приближне. Егзактне методе гарантују оптималност генерисаног решења за разматрани проблем, али су најчешће временски и меморијски веома захтевне па ретко успевају да генеришу оптимално решење. Приближне методе треба да омогуће добијање квалитетних решења за веома кратко време која могу да задовоље захтеве корисника. Та решења обично нису оптимална и не може се показати колико су лошија од оптималног решења, али су често најбоље што се може генерисати у разумном времену. Посебну врсту приближних метода чине метахеуристике. Ове методе су уопштени скуп правила која се приликом имплементације прилагођавају сваком конкретном проблему. Овде су издвојене две метахеуристичке методе које су предложили истраживачи из Србије и представљени су резултати њихове примене на неколико оптимизационих проблема.*

***Кључне речи:*** *Комбинаторна оптимизација, математичка формулација, приближна решења, метода променљивих околина, оптимизација колонијом пчела.*

***Abstract:*** *Many problems in everyday life are optimization problems. Examples of such problems are home visits to patients, delivery of goods to users, location planning for various service facilities, etc. Their setting often implies a simple formulation, but finding a solution is very difficult. Optimization is concerned with finding the optimal (best) or at least some good enough solution for the considered problem. There are many methods for optimization problems, which can be roughly divided into exact and approximate. Exact methods guarantee the optimality of the generated solution for the considered problem, but they are usually very demanding in terms of time and memory, so they rarely succeed in generating an optimal solution. Approximate methods should allow obtaining quality solutions in a very short time that can satisfy the user's requirements. These solutions are usually not optimal and cannot be shown to be worse than the optimal solution, but they are often the best that can be generated in a reasonable amount of time. Metaheuristics are a special type of approximate methods. These methods are a general set of rules that are adapted to each specific problem during implementation. Here, two metaheuristic methods proposed by researchers from Serbia are singled out and the results of their application to several optimization problems are presented.*

***Keywords:*** *Combinatorial optimization, mathematical formulation, sub-optimal solutions, variable neighborhood search, bee colony optimization.*

---

## 1. УВОД

Оптимизациони проблеми дефинишу се задавањем (*i*) скупа објеката (са припадајућим доприносима) чијим избором или распоредом се формира решење, (*ii*) функције циља којом се израчунава квалитет одређеног подскупа или распореда објеката, и (*iii*) правила којима се описују дозвољени (допустиви) подскупови/распореди објеката [59]. Најбоље решење је оно чији објекти (компоненете) задовољавају правила (релацију) допустивости и одговарају најмањој/највећој вредности функције циља међу свим могућим комбинацијама. Ово решење назива се *оптимално решење* (*оптимум*). Сва остала решења која задовољавају релацију допустивости називају се *допустива* или *субоптимална решења*.

Формално, проблем оптимизације подразумева налажење минималне или максималне вредности неке функције $f(x)$ под условом да важе нека задата ограничења. Област дефинисаности функције $f$ обележава се са $S$ и представља *простор решења* оптимизационог проблема. Скуп свих променљивих $x \in X(S$, које припадају области дефинисаности функције $f$, а чије вредности су условљене релацијама (ограничењима) допустивости назива се *скуп допустивих решења* или *допустиви домен X*. Дакле, скуп $X$ описује ограничења која променљиве $x$ треба да задовољавају да би се сматрале допустивим решењима. Аргументи $x$ функције циља $f$ називају се променљиве одлучивања. Променљиве одлучивања најчешће узимају ненегативне вредности, а неке или све од њих могу бити дискретне (тј. да узимају целобројне или чак бинарне вредности). Већина оптимизационих проблема има једно или више (коначних) оптималних решења, мада постоје и проблеми код којих је допустив скуп празан или неограничен (када се оптимално решење налази међу бесконачно далеким тачкама).

Глобално оптимално решење $x \in X$ проблема минимизације је оно решење за које важи $f(x^*) \leq f(x)$ за свако $x \in X$, $x \neq x^*$. Проблем максимизације функције $f(x)$ може се свести на минимизацију функције $-f(x)$, тако да га није потребно посебно разматрати.

У наставку рада описане су методе опимизације, посебно су издвојене оне чији аутори су истраживачи из Србије и приказани су резултати аутора у вези са применом тих метода на неке оптимизационе проблеме који имају примене у реалном животу.

## 2. МЕТОДЕ ОПТИМИЗАЦИЈЕ

Најопштије, методе оптимизације могу се поделити на:

- Егзактне (које гарантују оптималност добијеног решења)
- Приближне (хеуристичке): (похлепне) конструктивне методе, локална претрага
- Апроксимативне: хеуристике које гарантују квалитет решења
- Метахеуристичке: уопштене приближне методе
- Хибридне: комбинација раније наведених метода

Егзактне методе заснивају се на потпуној претрази простора решења. Самим тим захтевају много ресусрса за своје извршавање, првенствено времена и меморије. Због тога постају практично неупотребљиве када треба да се изврше над примерима великих димензија. Постоје егзактне методе које користе интелигентнији приступ претраживању, тј. имају уграђене механизме за усмеравање претраге ка квалитетнијим решењима и избегавање испитивања решења која су лошијег квалитета. Примери таквих метода су: методе гранања и ограничавања (branch-and-bound, B&B), метода гранања и одсецања (branch-and-cut, B&C), динамичко програмирање, алгоритам A* [56, 59] и друге. Међутим, често ни оне нису довољно ефикасне, па се у пракси обично користе методе из неке од преосталих група.

Хеуристичке методе [34] представљају технике решавања неког проблема које узимају у обзир *a priori* знање о том проблему. Састоје се од коначног скупа корака који омогућавају добијање неких решења проблема оптимизације (без гаранције њихове оптималности) за релативно кратко време. Та решења обичну буду задовољавајућег квалитета, тј. употребљива су у практичним применама. Основна предност хеуристичких метода је њихова брзина, што омогућава добијање употребљивих решења и за проблеме великих димензија какви се најчешће јављају у реалним применама. Недостатак је што за добијено решење, не само да не постоји гаранција оптималности, већ се не може ни проценити колико су лошија од оптималног решења. Међутим, за проблеме великих димензија основни циљ је да се у разумном времену добије било какво решење, без обзира на његов квалитет. Када решење већ постоји, могу се применити разне технике за његово побољшање, што је у суштини била основна идеја за развој метахеуристика. Хеуристчке методе најчешће се користе за конструкцију (генерисање) решења и самим тим се током њиховог извршавања доносе одлуке на основу непотпуних информација. Постоје и итеративне методе које унапред дефинисаним трансформацијама покушавају да поправе нека позната решења. Те транасформације су углавном локалног карактера, тј. омогућавају генерисање решења која су блиска полазном.

Међу хеуристичким методама посебно место заузимају такозвани *апроксимативни алгоритми*, тј. хеуристике које гарантују квалитет добијеног решења [66, 67]. За таква решења се и даље не зна да ли су оптимална, али су сигурно „не више од $\alpha$ пута лошија од оптималног”. Тако на пример, познат је апроксимативни алгоритам за налажење минималног чворног покривача графа са коефицијентом апроксимације $\alpha = 2$ [64]. То значи да је резултујући граф садржи највише дупло више чворова од оптималног решења. Најпознатији апроксимативни алгоритам за распоређивање независних задатака на идентичне процесоре (Largest Processig Time first with Earliest Start scheduling rule, LPT-ES) има коефицијент апроксимације $\alpha = 4/3 - 1/(3m)$ где $m$ представља број процесора [22]. Апроксимативне методе (када постоје) имају значајну улогу у генерисању почетних решења које се затим могу поправљати применом итеративних оптимизационих метода. То нам омогућава добијање решења за која је могуће проценити квалитет, па самим тим њихова примена (поред практичног) има и теоријски значај.

Развој хеуристичких метода у новије време кренуо је у смеру примене неких универзалних принципа, који не зависе од сваког конкретног проблема који се решава. То је довело и до развоја *универзалних хеуристика* или тзв. *метахеуристика* [4, 59]. Ове универзалне методе састоје се од уопштених скупова правила која се могу применити за решавање разноврсних проблема оптимизације и подразумевају примену итеративних поступака у циљу изградње нових и бољих решења или поправљања неких постојећих. Треба напоменути да је основна мана метахеуристика што (у општем случају) не могу да гарантују квалитет добијеног решења, осим ако њихово извршавање не полази од хеуристичког решења добијеног апроксимативном методом. У пракси се показало да различите метахеуристичке методе, за релативно кратко време, успевају да пронађу квалитетна субоптимална решења за сложене проблеме или инстанце великих димензија, што је утицало на њихову широку примену последњих двадесетак година.

Метахеуристике се могу класификовати на неколико начина. Прва класификација узима у обзир инспирацију за развој методе, па тако разликујемо методе инспирисане природним процесима од оних које су математички засноване. Према другој класификацији разликујемо методе које користе једно решење од оног које раде над популацијом решења, док се трећа класификација односи на то да ли се током рада метахеуристичких метода решења изграђују или се модификују нека постојећа решења.

У наставку рада описане су две метахеуристичке методе, једна која користи једно решење и једна популациона, чији су аутори истраживачи из Србије. Такође, представљени су примери примена тих метода на неке познате оптимизационе проблеме кроз преглед одговарајућих радова из литературе.

## 3. МЕТОДА ПРОМЕНЉИВИХ ОКОЛИНА

У овом одељку прво је описана метода промењивих околина коју су 1997. године предложили Младеновић и Хансен [51], а затим је дат преглед неких радова у којима је ова метода успешно примењена на неке значајне оптимизационе проблеме.

### 3.1. Кратак опис методе

Основне идеје методе промењивих околина (Variable Neighborhood Search, VNS) изложене су 1995. године [49]. Након првог рада у часопису [51], појавиле су се многе публикације у којима се описују успешне примене VNS методе, али и оне у којима се предлажу модификације или нове варијанте. Метода се заснива на систематској промени околина унутар локалног претраживања инспирисана следећим једноставним чињеницама [29]:

(i) локални оптимум у односу на једну околину не мора бити и локални оптимум у односу на неку другу околину;
(ii) глобални оптимум је локални оптимум о односу на све околине; и
(iii) за већину проблема локални оптимуми у односу на разне околине су међусобно блиски.

Прва чињеница оправдава увођење више околина, док другу уствари треба тумачити на следећи начин: ако неко решење није локални оптимум у односу на неку околину, онда сигурно није ни глобални оптимум. Решење које је локални оптимум у односу на све разматране околине и даље не мора бити глобални оптимум. Чињеница 3 је само емпиријска, не важи теоријски у општем случају и треба је користити условно. Уколико се процени да је она оправдана, препоручује се детаљно претраживање најближе околине локалних оптимума јер се ту очекује поправљање текућег најбољег решења. Дакле, за успешну имплементацију VNS методе неопходно је увести више околина, било да се мења метрика у односу на коју се дефинише околина, било да се повећава растојање у односу на исту метрику.

Нека је $x ( X$ произвољно допустиво решење и нека је $\mathcal{N}_k$, $(k = 1, 2, \dots, k_{\max})$, коначна колекција унапред дефинисаних околина. Тада је $\mathcal{N}_k(x)$ скуп решења у $k$ -тој околини од $x$, тј. скуп решења која се у односу на усвојену метрику (број трансформација) налазе на растојању $k$ од решења $x$.

Многе метахеуристичке методе базиране на локалном претраживању углавном користе једну, две или три околине, ретко се јавља потреба за већим бројем околина, али се могу наћи у литератури и такви радови [47].

Основна варијанта VNS методе, (Basic Variable Neighborhood Search, BVNS) састоји се од три корака: (1) *размрдавања*, тј. случајног избора почетног решења у текућој (*k*-тој) околини тренутно најбољег решења, (2) *побољшања*, тј. примене неке процедуре локалне претраге почев од тог решења и (3) *померања*, тј. систематске (детерминистичке) промене околине зависно од квалитета добијеног локалног оптимума. Ово је најраспрострањенија и једна од најједноставнијих варијанти методе променљивих околина. Основни кораци BVNS методе извршавају се у петљи све док не буде задовољен неки критеријум заустављања. Почетно решење у околини *k* генерише се на случајан начин како би се обезбедило претраживање различитих региона приликом следећег разматрања околине *k*. Околине се могу разликовати по основу растојања (броја трансформација) или по основу метрике (врсте трансформација). Важно је напоменути да околине за размрдавање (избор случајног решења) и локално претраживање не морају бити истог типа (не морају бити везане за исту метрику). Описани кораци илустровани су псеудокодом представљеним Алгоритмом 1.

VNS метода у току свог извршавања примењује похлепну стратегију померања, што значи да увек прелази у боље решење и то чим се оно пронађе., тј. метода је First-Improvement (FI) карактера. Основни параметар VNS методе је $k_{\max}$ - максималан број околина које се истражују [27, 51]. Критеријум заустављања може бити максимално дозвољено време извршавања алгоритма, максимални број итерација, тј. колико пута се достигне $k_{\max}$, максимални број промена вредности за $k$ (број извршених размрдавања и локалних претрага) или број итерација (размрдавања и локалних претрага) између две поправке глобално најбољег решења. Уколико се локална претрага врши кроз више околина, што иначе претставља методу променљивог спуста (Variable neighborhood Descent, VND), добија се уопштена метода променљивих околина (General Variable Neighborhhod Search, GVNS). При томе околине у којима се бира почетно решење и околине у оквиру којих се извршава VND процедура могу бити дефинисане на различите начине.

Алгоритам 1: Псеудокод за BVNS методу

```
procedure BVNS(instanca, $k_{max}$□, STOP)
    $x$ ← InitSolution()
    $x_1 best$ ( $x$
    $f_1 best$ ( $f(x)$
    repeat
        $k$ ( $1$
        repeat
            $x'$ ← RandomSolution($x_{best}$, $\mathcal{N}_k$)        // Размрдавање
            $x''$ ← LocalSearch($x'$)                        // Побољшање
            if ($f(x'') < f_1 best$ ) then                   // Померање
                $x_1 best$ ( $x''$
                $f_1 best$ ( $f(x'')$
                $k$ ( $1$
            else
                $k$ ( $k+1$
            end if
            term ← StoppingCriterion(STOP)
        until ($k >  k_{max}$□ ∨ term)
    until (term)
    return ($x_{best}$ , $f_{best}$ )
end procedure
```

VNS метода је до сада успешно примењена на велики број проблема комбинаторне оптимизације и вештачке интелигенције. Предложено је неколико модификација и побољшања, углавном намењених успешном решавању проблема великих димензија [27, 28, 29, 30]. Ове модификацију могу укључивати нове параметре, али и нове стратегије претраживања. У наставку су приказани неки примери примена, углавном као преглед резултата аутора и сарадника.

## 3.2. Примери примене VNS методе

Истраживачи широм света прихватили су VNS методу и постоји на хиљаде радова у којима се описују имплементације разних варијанти за решавање многих познатих оптимизационих проблема као и многих нових проблема који имају примену у реалном животу. Прва примена BVNS методе била је на проблем трговачког путника и описана је у већ поменутом раду Младеновића и Хансена из 1997. године [51]. Међу прве примере примене методе спадају и проблеми $p$-медијане [26] и $p$-центара [53], при чему је за први проблем разматрана и паралелна верзија методе [10].

Значајни резултати постигнути су и на разним оптимизационим проблемима на графовима [5, 6, 7, 31, 48, 52, 65], проблемима распоређивања [1, 2, 13, 16, 33, 41], кластеровања [8, 38], рутирања [47], аутоматског доказивања теорема [37, 55] и разним проблемима континуалне оптимизације [9, 21, 50].

VNS метода успешно је коришћена и за решавање разних уопштених проблема мешовитог целобројног програмирања [3, 25], а на ову тему најзначајнији резултати постигнути су хибридизацијом са егзактним солверима [32, 24, 23, 39, 42].

Овде су наведени само неки радови везани за резултате остварене у вези са VNS методом. Исцрпан преглед литературе превазилази оквире овог рада. Важно је само напоменути да методу користе истраживачи са свих континената, своје резултате објављују у научним часописима, публикацијама монографског карактера, на научним скуповима од којих је најважнији међународна конференција посвећена методи (International Conference on VNS, ICVNS) установљена 2005. године на којој се окупљају истраживачи из целог света да размене искуства у развоју и имлементацији VNS методе.

## 4. ОПТИМИЗАЦИЈА КОЛОНИЈОМ ПЧЕЛА

Метода оптимизације колонијом пчела (Bee Colony Optimization, BCO) је метахеуристика инспирисана понашањем пчела у потрази за храном. То је један од првих алгоритама који користи основне принципе колективне интелигенције пчела у решавању проблема комбинаторне оптимизације. BCO метода првобитно је предложена за примену на познате тешке проблеме комбинаторне оптимизације као што су проблем трговачког путника [43, 44, 45] и рутирање возила [46], али је касније проширена на многе друге проблеме, па и на проблеме континуалне оптимизације [54, 63]. То је итеративна стохастичка метода (користи технику случајне претраге) и ради над популацијом решења. Инспирација за развој методе настала је успостављањем аналогије између понашања пчела у потрази за храном и понашања оптимизационог алгоритма током претраживања простора решења датог комбинаторног проблема [20].

### 4.1. Кратак опис BCO методе

Основна идеја методе је формирање система мулти-агента (колоније вештачких пчела) који би се ефикасно примењивао на тешке проблеме оптимизације. Вештачке пчеле претражују простор решења у потрази за допустивим решењима датог проблема. У циљу поправљања квалитета генерисаних решења, аутономне вештачке пчеле сарађују и размењују информације. Дељењем доступних информација и коришћењем колективног знања, вештачке пчеле концентришу претрагу на области које потенцијално садрже боља решења, а напуштају решења слабијег квалитета. Оваквим поступком вештачке пчеле колективно генеришу све боља и боља решења.

BCO алгоритам ради у итерацијама све до задовољења неког унапред дефинисаног критеријума заустављања. Најчешће коришћени критеријуми заустављања (као и код других метахеуристичких метода) су максимално дозвољено време, максимални број итерација, максимални број итерација без побољшања тренутно најбољег решења, максимални број израчунавања вредности функције циља и многи други, а понекад се користе и комбинације више критеријума. Постоје две основне варијанте BCO методе, конструктивна (која, почевши од празних решења, изграђује решења примењујући неку врсту стохастичког похлепног избора нових компоненти) и варијанта са поправком (која полази од неких комплетних решења и покушава да их побољша применом стохастичких правила замене компоненти). Варијанта са поправком је у литератури позната као *improvement* BCO (BCOi) [17, 54, 57].

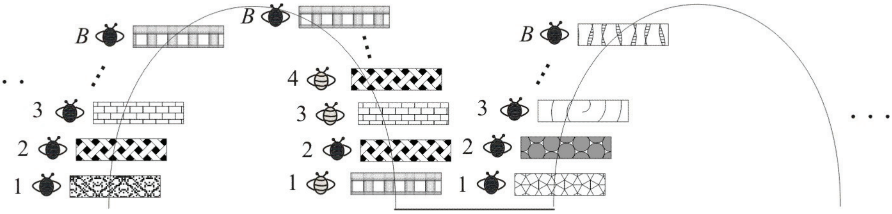
Популација вештачких пчела састоји се од B агената који заједно трагају за решењем разматраног оптимизационог проблема. Свака вештачка пчела генерише по једно решење за дати проблем [18]. Псеудокод BCO методе представљен је Алгоритмом 2. Рад алгоритма одвија се кроз итерације, а свака итерација се састоји од NC корака. Корак BCO алгоритма дели се на две фазе: лет унапред (енгл. forward pass) и лет уназад (енгл. backward pass). Дакле, у оквиру једне итерације ове две фазе се смењују NC пута, тј. док се не изгенеришу комплетна решења, у конструктивној верзији алгоритма, или док се не изврши NC модификација почетних решења, у BCOi верзији. Током лета унапред све вештачке пчеле су укључене у истраживање простора решења. По аналогији са природним процесом прикупљања нектара, квалитет (парцијалног) решења може се поистоветити са количином сакупљеног нектара и/или са удаљеношћу кошнице од извора хране, а процес сакупљања нектара у природи одговара фази лета унапред у BCO алгоритму. Ова фаза алгоритма директно зависи од проблема који се решава и мора се приликом имплементације максимално прилагодити том проблему.

Алгоритам 2: Псеудокод за BCO методу

```
procedure BCO(instanca, B, NC, STOP)

  while ¬(Terminate ← StoppingCriterion(STOP)) do
    for b ← 1, B do                    // Одређивање иницијалне популације
      Solution(b) ← Initialize()
    end for
    Update($x_{best}$, $f(x_{best})$)
    for u ← 1, NC do
      for b ← 1, B do                  // Лет унапред
        Transform(Solution(b))
      end for
      for b ← 1, B do                  // Лет уназад
        Loyalty(Solution(b))
      end for


      for b ∈ NonLoyal do


        Recruitment(Solution(b))
      end for
    end for
    Update($x_{best}$, $f(x_{best})$)
  end while
  return($x_{best}$, $f(x_{best})$)
end procedure
```

У фази лета уназад вештачке пчеле размењују информације о квалитету пронађених решења и то користе за доношење одлуке која решења су перспективна и заслужују даља истраживања, а која треба одбацити и заменити их перспективнима. Ритуални плес пчела у природи у алгоритму претраживања замењен је процењивањем (евалуирањем) квалитета сваког генерисаног (парцијалног) решења релативно у односу на најбоље и најлошије решење у тренутној популацији. Квалитет решења исказује се реалним бројем који припада интервалу [0,1]. Најквалитетније решење међу свим вештачким пчелама добија ознаку квалитета 1, а најлошије 0 (или неку вредност блиску нули). Када се сва решења евалуирају, свака вештачка пчела треба да одреди да ли ће остати *лојална* свом (парцијалном) решењу и наставити његово истраживање. Та одлука доноси се на основу вероватноће, која зависи од односа квалитета тренутног решења дате вештачке пчеле и квалитета решења „најбоље" вештачке пчеле. Најбоља пчела је она која тренутно поседује најквалитетније (парцијално) решење. Она је увек лојална том свом решењу, јер је њена вероватноћа лојалности увек једнака јединици. Вештачка пчела која напусти (одбаци) своје (парцијално) решење постаје *нелојална* и мора да преузме неко од решења лојалних вештачких пчела при чему пчеле које поседују квалитетнија решења имају веће шансе да то решење задрже (да остану лојалне) и рекламирају га осталима. За разлику од пчела у природи, које не морају да изводе ритуални плес и рекламирају своје изворе хране другима, вештачке пчеле које остану лојалне свом (парцијалном) решењу у исто време постају и *регрутери*, односно, међу њима ће нелојалне вештачке пчеле бирати замену за решења која су одбациле. У том моменту издвајају се две врсте пчела R регрутера и преосталих B-R нелојалних (неопредељених) пчела [18]. Одлуку које од рекламираних решења ће преузети, неопредељена вештачка пчела доноси са вероватноћом која је пропорционална квалитету одговарајућег рекламираног решења и та одлука се реализује помоћу рулета.

Извршавање BCOi методе илустровано је на слици 1. На левом делу полукруга илустрована је фаза лета унапред у којој свака вештачка пчела модификује своје решење. Како су модификације стохастичке, пчеле ће на крају ове фазе имати различита решења. Након фазе лета уназад (евалуације, одређивања лојалности и регрутације) нелојалне пчеле 1 и 4 (које су одбациле своја решења) преузеће решења од неких регрутера и зато на десном делу полукруга пчеле 1 и B и пчеле 2 и 4 имају иста решења. У наредном лету унапред, модификација ће променити иста решења на различите начине и опет ће све пчеле имати различита (потенцијално побољшана) решења.



**Слика 1:** Илустрација рада BCO методе

## 4.2. Примери примене BCO методе

Након првих радова са описом и применама BCO методе [43, 44, 45, 46], појавило се још неколико радова у којима је ова метода примењивана на транспортне проблеме. Почев од 2007. године појављују се радови у којима се разматрају локацијски проблеми [16, 17], проблем распоређивања [19, 18] за који је развијена и паралелна верзија ове методе [15], проблем доделе везова бродовима у луци [40], проблем кластеровања [12], проблем задовољивости у класичним [35] и не-класичним логикама [57,58] и многи други.

Осим паралелизације, за BCO методу је извршена и теоријска анализа, тј. доказани су потребни и довољни услови под којима решења генерисана овом методом асимптотски конвергирају ка оптималном решењу [36]. За овакву конвергенцију, неопходно је да се приликом имплементације методе укључи и процес учења из већ посећених решења што није уобичајено за већину метахеуристичких метода. Овакав концепт омогућио је да се теоријска анализа примени и на друге, углавном популационе, метахеуристичке методе [14].

Прегледни радови [11, 20, 60, 62], садрже детаљан преглед литературе везане за развој и примене BCO методе.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Метахеуристичке методе представљају, не само моћан, него често и једини алат за решавање тешких оптимизационих проблема. У раду су представљене две метахеуристичке методе чији су аутори истраживачи из Србије: метода променљивих околина и метода оптимизације колонијом пчела. Укратко су описани основни кораци ових метода, примери њихових примена на неке значајне проблеме комбинаторне и континуалне оптимизације и указано на литературу из које се може сазнати више детаља о развоју и примени ових метода. Основна намера је популапизација метода и подстицање истраживача, нарочито млађих колега и доктораната да користе ове методе, учествују у њиховом даљем развоју и промовишу њихову ширу употребу кроз своје резултате.

## ЗАХВАЛНИЦА

Истраживања аутора описана у овом раду финансирана су од стране Министарства за науку, технолошки развој и иновације, по основу неколико пројеката. Тренутно финансирање је на основу уговора бр. 451-03-47/2023-01/200029. Наведена истраживања непрекидно и значајно подржавају моја породица и сарадници аутора и овим путем им изражавам огромну ѕахвалност.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Anokić, A., Stanimirović, Z., Stakić, Đ., Davidović, T. (2021). Metaheuristic approaches to a vehicle scheduling problem in sugar beet transportation. *Operational Research*, 21, 2021-2053.

[2] Anokić, A., Stanimirović, Z., Davidović, T., Stakić, Đ. (2020). Variable neighborhood search based approaches to a vehicle scheduling problem in agriculture. *International Transactions in Operational Research*, 27(1), 26-56.

[3] Alonso-Ayuso, A., Escudero, L. F., Martín-Campo, F. J., Mladenovic, N. (2012). VNS based algorithm for solving a 0-1 nonlinear nonconvex model for the Collision Avoidance in Air Traffic Management. *Electron. Notes Discret. Math.* 39, 115-120.

[4] Blum, C., Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys* (CSUR), 35(3), 268-308.

[5] Brimberg, J., Mladenović, N., Urošević, D., Ngai, E. (2009). Variable neighborhood search for the heaviest k-subgraph. *Comput. Oper. Res.,* 36(11), 2885-2891.

[6] Brimberg J., Mladenović N., Urošević D. (2008). Local and variable neighborhood search for the k -cardinality subgraph problem. *J. Heuristics*, 14(5), 501-517.

[7] Brimberg J., Urošević D., Mladenović N. (2006). Variable neighborhood search for the vertex weighted k-cardinality tree problem. *Eur. J. Oper. Res.,* 171(1), 74-84.

[8] Carrizosa, E., Mladenović, N., Todosijević, R. (2013). Variable neighborhood search for minimum sum-of-squares clustering on networks. *Eur. J. Oper. Res.,* 230(2), 356-363.

[9] Carrizosa, E., Dražić, M., Dražić, Z., Mladenović, N. (2012). Gaussian variable neighborhood search for continuous optimization. *Comput. Oper. Res.,* 39(9), 2206-2213.

[10] Crainic, T.G., Gendreau, M., Hansen, P., Mladenović, N. (2004). Cooperative Parallel Variable Neighborhood Search for the p-Median, *J. Heuristics,* 10(3), 293-314.

[11] Davidović, T. (2015) Bee Colony Optimization: Recent Developments and Applications, (plenary talk), *Proc. Balkan Conference on Operational Research*, BALCOR 2015, Constanta, Romania, Sept. 9-12, 2015. Mircea cel Batran Naval Academy Scientific Bulletin, Volume XVIII, Issue 2, 225-235.

[12] Davidović, T., Glišović, N., Rašković, M. (2018). Bee Colony Optimization for Clustering Incomplete Data. *Proc. The 7th International Conference on Optimization Problems and Their Applications*, OPTA 2018, Omsk, Russia, July 08-14, 2018, In: S. Belim et al. (eds.): *Proceedings of the School-Seminar on Optimization Problems and their Applications* (OPTA-SCL 2018), CEUR Workshop Proceedings, 94-108.

[13] Davidović, T., Hansen, P., Mladenović, N. (2005). Permutation based genetic, tabu and variable neighborhood search heuristics for multiprocessor scheduling with communication delays. *Asian Pacific Journal of Operations Research*, 22, 297-326.

[14] Davidović, T., Jakšić Krüger, T. (2018). Convergence Analysis of Swarm Intelligence Metaheuristic Methods. In: Eremeev A., Khachay M., Kochetov Y., Pardalos P. (eds.), *Proc. The 7th International Conference on Optimization Problems and Their Applications*, OPTA 2018,

Omsk, Russia, July 08-14, 2018, Communications in Computer and Information Science book series (CCIS, volume 871), Springer, 251-266.

[15] Davidović, T., Jakšić, T., Ramljak, D., Šelmić, M., Teodorović, D. (2013). Parallelization strategies for bee colony optimization based on message passing communication protocol. *OPTIMIZATION*, 62(8), 1113-1142, Special Issue entitled "Advances in Discrete Optimization", dedicated to BALCOR 2011.

[16] Davidović, T., Janićijević, S. (2009). Heuristic Approach to Scheduling Independent Tasks on Identical Processor, *Proc. Symp. on information technology*, YUINFO 2009, (on CD 115.pdf), Kopaonik, March 08-11.

[17] Davidović, T., Ramljak, D., Šelmić, M., Teodorović, D. (2011). Bee Colony Optimization for the p-Center Problem, *Computers and Operations Research*, 38(10), 1367-1376.

[18] Davidović, T., Šelmić, M., Teodorović, D., Ramljak, D. (2012). Bee Colony Optimization for Scheduling Independent Tasks to Identical Processors, *Journal of Heuristics*, 18(4), 549-569.

[19] Davidović, T., Šelmić, M., Teodorović, D. (2009). Scheduling Independent Tasks: Bee Colony Optimization Approach. *Proc. 17th Mediterranean Conference on Control and Automation*, Makedonia Palace, Thessaloniki, Greece, June 24-26, 1020-1025.

[20] Davidović, T., Teodorović, D., Šelmić, M. (2015). Bee Colony Optimization Part I: The Algorithm Overview, *Yugoslav Journal of Operational Research*, 25(1), 33-56.

[21] Dražić, M., Lavor, C., Maculan, N., Mladenović, N. (2008). A continuous variable neighborhood search heuristic for finding the three-dimensional structure of a molecule. *Eur. J. Oper. Res.,* 185(3), 1265-1273.

[22] Graham, R. L. (1969). Bounds on multiprocessor timing anomalies. *SIAM J. Applied Math*., 17:416-429.

[23] Hanafi, S., Lazić, J., Mladenović, N. (2010). Variable Neighbourhood Pump Heuristic for 0-1 Mixed Integer Programming Feasibility. *Electron. Notes Discret. Math.* 36, 759-766.

[24] Hanafi S., Lazić J., Mladenović N., Wilbaut C., Crévits I. (2010). Hybrid Variable Neighbourhood Decomposition Search for 0-1 Mixed Integer Programming Problem. *Electron. Notes Discret. Math.,* 36, 883-890.

[25] Hansen P., Brimberg J., Urošević D., Mladenović N. (2007). Primal-Dual Variable Neighborhood Search for the Simple Plant-Location Problem. *INFORMS J. Comput.,* 19(4), 552-564.

[26] Hansen P., Mladenović, N. (1997) Variable neighbourhood search for the p-median, *Location Science* 5, 207-226.

[27] Hansen, P., Mladenović, N. (2001). Variable neighborhood search: Principles and applications. *Europ. J. Oper. Res.*, 130, 449-467.

[28] Hansen, P., Mladenović, N. (2002). Developments of the variable neighborhood search. In C. Ribeiro and P. Hansen, editors, *Essays and Surveys in Metaheuristics*, Kluwer Academic Publishers, 415-439.

[29] Hansen, P. , Mladenović, N. (2003). Variable neighbourhood search. In F. Glover and G. Kochenagen, editors, *Handbook of Metaheuristics*, 145-184. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

[30] Hansen, P., Mladenović, N., Brimberg, J., Moreno Pérez. J. A. (2010). Variable neighborhood search. In M. Gendreau and J-Y. Potvin, editors, *Handbook of Metaheuristics*, pages 61-86. (second edition) Springer, New York Dordrecht Heidelberg London.

[31] Hansen P., Mladenović N., Urošević D. (2004).Variable neighborhood search for the maximum clique, *Discret. Appl. Math.*, 145(1), 117-125.

[32] Hansen P., Mladenović N., Urošević D. (2006). Variable neighborhood search and local branching, *Comput. Oper. Res.*, 33(10), 3034-3045.

[33] Hansen P., Oguz C., Mladenović N. (2008). Variable neighborhood search for minimum cost berth allocation, *Eur. J. Oper. Res.*, 191(3), 636-649.

[34] Jakšić Krüger. T. (2017). Development, implementation, and theoretical analysis of the Bee Colony Optimization (BCO) meta-heuristic method. PhD thesis, Faculty of Techincal Science, University of Novi Sad.

[35] Jakšić Krüger, T., Davidović, T. (2016). Empirical Analyis of the Bee Colony Optmization Method on 3-Sat Problem, Proc. 43rd Symposium on Operations Research, SYM-OP-IS 2016, Tara, Sept. 20-23, 2016, 297-301.

[36] Jakšić Krüger, T., Davidović, T., Teodorović, D., Šelmić, M. (2016). The Bee Colony Optimization Algorithm and its Convergence, Int. J. Bio-Inspired Computation, 8(5), 340-354.

[37] Jovanović, D., Mladenović, N., Ognjanović, Z. (2007). Variable Neighborhood Search for the Probabilistic Satisfiability Problem, in: *Metaheuristics: Progress in Complex Systems Optimization*, Springer Series: Operations Research/Computer Science Interfaces Series , Vol. 39, Doerner, K.F.; Gendreau, M.; Greistorfer, P.; Gutjahr, W.; Hartl, R.F.; Reimann, M. (Eds.), Springer, Berlin-NY, 173-188.

[38] Jovanović, Đ., Davidović, T., Urošević, D., Jakšić-Krüger, T., Ramljak, D. (2023). Variable Neighborhood Search Approach to Community Detection Problem, in Georgiev, I., Datcheva, M., Georgiev, K., Nikolov, G., (Eds.) *Proc. 10th International Conference on Numerical Methods and Applications* (NMA 2022), Borovets, Bulgaria, Aug. 22-26, 2022, LNCS 13858, Springer, Cham, 188-199.

[39] Jovanović, P., Davidović, T., Lazić, J., Mitorvić Minić, S. (2015). The Variable Intensity Neighborhood Search for 0-1 MIP, *Proc. 42nd Symposium on Operations Research*, SYM-OP-IS 2015, Srebrno jezero, Sept. 15-18, 2015, 229-232.

[40] Kovač, N., Davidović, T., Stanimirović, Z. (2021). Population-based Metaheuristics for the Dynamic Minimum Cost Hybrid Berth Allocation Problem, *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 30(4), 2150017:1-29.

[41] Kovač, N., Davidović, T., Stanimirović, Z. (2018). Variable neighborhood search methods for the dynamic minimum cost hybrid berth allocation problem, *Information Technology and Control*, 47(3), 471-488.

[42] Lazić J., Hanafi S., Mladenović N., Urošević D. (2010). Variable neighbourhood decomposition search for 0-1 mixed integer programs, *Comput. Oper. Res.*, 37(6), 1055-1067.

[43] Lučić, P., Teodorović, D. (2001). Bee system: modeling combinatorial optimization transportation engineering problems by swarm intelligence. In *Preprints of the TRISTAN IV Triennial Symposium on Transportation Analysis*. Sao Miguel, Azores Islands, 441-445.

[44] Lučić, P., Teodorović, D. (2002). Transportation modeling: an artificial life approach. In *Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence*, Washington, DC, 216-223.

[45] Lučić, P., Teodorović, D. (2003a). Computing with bees: attacking complex transportation engineering problems. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 12(3), 375-394.

[46] Lučić, P., Teodorović, D. (2003b). Vehicle routing problem with uncertain demand at nodes: the bee system and fuzzy logic approach. In J. L. Verdegay, editor, *Fuzzy Sets based Heuristics for Optimization*, Physica Verlag: Berlin Heidelberg, 67-82.

[47] Matijević, L. (2023). General Variable Neighbourhood Search for Electric Vehicle Routing Problem with Time-dependent Speeds and Soft Time Windows. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 14, 275-292.

[48] Matijević, L., Jelić, S., Davidović, T. (2022). General Variable Neighborhood Search Approach to Group Steiner Tree Problem. *Optimization Letters*, (acceptted), Special Issue dedicated to ICVNS 2021 virtual conference. DOI: 10.1007/s11590-022-01904-7

[49] Mladenović, N. (1995). A variable neighborhood algorithm - a new metaheuristic for combinatorial optimization applications. In *Optimization Days*, p. 112, Montreal, 1995.

[50] Mladenović, N., Drazić, M., Kovačević-Vujčić V., Čangalović M. (2008) General variable neighborhood search for the continuous optimization*.,* 191(3), 753-770.

[51] Mladenovic N., Hansen P. (1997). Variable neighborhood search, *Comput. Oper. Res.,* 24(11), 1097-1100.

[52] Mladenović N., Kratica J., Kovačević-Vujčić V., Čangalović M. (2012). Variable neighborhood search for metric dimension and minimal doubly resolving set problems. *Eur. J. Oper. Res.*, 220(2), 328-337.

[53] Mladenović N., Labbé M., Hansen P. (2003). Solving the p-Center problem with Tabu Search and Variable Neighborhood Search. *Networks,* 42(1), 48-64.

[54] Nikolić, M., Teodorović, D. (2013). Empirical study of the bee colony optimization (BCO) algorithm. *Expert Systems with Applications*, 40(11), 4609–4620.

[55] Ognjanović Z., Midić U., Mladenović N. (2005). A hybrid genetic and variable neighborhood descent for probabilistic SAT problem, *Lecture notes in Computer Science*,3636, 42-53.

[56] Stanimirović, Z. (2007). Genetski algoritmi za rešavanje nekih NP-teških hab lokacijskih problema, Doktorksa disertacija, Matematički fakultet, Univerzitet u Beogradu.

[57] Stojanović, T., Davidović, T., Ognjanović, Z. (2015). Bee Colony Optimization for the Satisfiability Problem in Probabilistic Logic, *Applied Soft Computing*, 31, pp. 339-347.

[58] Stojanović, T., Ikodinović, N., Davidović, T., Ognjanović, Z. (2021). Automated non-monotonic reasoning in System P , *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 89, 471–509.

[59] Talbi, E.-G. (2009). *Metaheuristics: From Design to Implementation*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

[60] Teodorović, D., Davidović, T., Šelmić, M., Nikolić, M. (2021). Bee Colony Optimization and its Applications, in Kulkarni A., Siarry, P. (Eds.) *Handbook of AI-based Metaheuristics*, CRC Press, Boca Raton, 301-321.

[61] Teodorović, D., Šelmić, M. (2007). The BCO algorithm for the p-median problem. In *Proceedings of the XXXIV Serbian Operations Research Conferece*, Zlatibor, Serbia (in Serbian), 417–420.

[62] Teodorović, D., Šelmić, M., Davidović, T. (2015). Bee Colony Optimization Part II: The Applications Survey, *Yugoslav Journal of Operational Research*, 25(2), 185-219.

[63] D. Teodorović, M. Šelmić, and Lj. Mijatović-Teodorović. (2013). Combining case–based reasoning with bee colony optimization for dose planning in well differentiated thyroid cancer treatment. *Expert Systems with Applications*, 40(6), 2147–2155.

[64] Tu, J., Zhou, Z. (2011). A factor 2 approximation algorithm for the vertex cover $P_3$ problem. *Information Processing Letters*, 111(14):683-686.

[65] Urošević D., Brimberg J., Mladenović N. (2004). Variable neighborhood decomposition search for the edge weighted k-cardinality tree problem, *Comput. Oper. Res.*, 31(8), 1205-1213.

[66] Vazirani, V. V. (2001). *Approximation algorithms*. Springer Science & Business Media.

[67] Williamson, D. P., Shmoys, D. B. (2011). *The design of approximation algorithms*. Cambridge University Press.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# FROM POLICY TO PRACTICE: THE UTILITY OF AI IN ADAPTIVE CHALLENGES

Ifti Zaidi[1]
[1] Cranfield School of Defence and Security, Cranfield University, i.zaidi@cranfield.ac.uk

---

***Abstract:*** *AI ushers a revolution in human affairs, challenging paradigms across a wide range of human activity. Using frame-based knowledge representation to support decision making is not new and we know that AI can encapsulate aspects of intuitive knowledge behind decision making, draw on vast amounts of data, identify patterns, trends, and correlations to provide analytical outputs. AI is already replacing human agency in many walks of life. This research examines the utility of AI for policy and strategy. The central question is, can AI replace human agency, and can AI-powered forecasting models help policymakers predict potential outcomes of events; support scenarios analysis and evaluate the impact of different policy options to produce strategy and plans? I examine AI's ability to replicate, surpass and replace human creativity, innovation, and intuition in dealing with novelty and in tackling wicked problems and adaptive challenges to produce useable policy and strategy. In terms of context and scope, this paper addresses national security and military strategy. The research finds that while policy and plans have processual and mechanical dimensions to them, competitive strategy require novelty, creativity, and innovation. AI, presently and foreseeable, lacks the element of creativity and intuition which are essential in strategy. In conjunction with human faculty, AI can be applied for testing robustness of policy and model outcomes, war game strategy, as a red-teaming aid, and to eliminating groupthink and other biases.*

---

## 1. INTRODUCTION

Using quantitative and qualitative frameworks as knowledge-based tools to support decision making is not new. The potential of AI driven process technology to transform data and information into knowledge was recognised by several commentators in the late 1980s and early 1990s who also envisaged that AI could encapsulate the intuitive knowledge of high-level decision makers, crunch vast amounts of data, build, or identify patterns and trends, identify correlations to inform action. There was, and remains, a general optimism in academia on the potential of coupling AI and robotics to replace the human being in the action loop and while there have been sceptics, these voices are heavily subdued (Raj & Seamans, 2019; Pagallo, Corrales, Fenwick, & Forgó, 2018; Bhaskar, et al., 2020; Kortenkamp, Bonasso, & R., 1998; Maravall, de Lope, & Martín, 2009; Murphy, 2019). AI-powered forecasting models (according to Open AI) can help policymakers predict potential outcomes and evaluate the impact of different policy options (Warner et al., 2020).With the rapid expansion of machine-based decision making and the competition advantage the technology offers, AI is fast becoming a sine qua non in all walks of human engagement. A new revolution is in the making (Chakraborty, Banerjee, Saha, Sarkar, & Charaborty, 2022; Howard, 2019). We are edging quicky towards a world conceived by the sci-fi novelist, E.M. Forster, in his masterpiece, The Machine Stops (1909). The story was written in response to the fiction novel by H. G. Wells, A Modern Utopia, that set out his doctrine of social progress.  Forster, however, warns us of the potential consequences of diminished human agency through gradual erosion of human agency and connection to fundamental decisions required to address complex and adaptive problems. These contrasting perspectives, albeit from works of fiction, provide an excellent foundation for discussion on technical and human aspects of absorbing AI in our organisational affairs; particularly where human-action becomes less and less needed overtime and machines more difficult to replace with human agency.

AI can deal with complexity and make sense of complex system flows (feedback). Notwithstanding Forester's concerns with system fragility the utility of AI based decision support tools for Operational Research (OR) and strategic management (as subject of critical research) is continually growing, as too is the application of AI, whether experimentally or as formal practice in a variety of organisational contexts, including government and governance. Concurrently we are also beginning to recognise the threat posed and across the world, leaders are waking up to the challenges. The current debates range from mushrooming applications of AI to the legal frameworks and social impact to the moral and ethical issues we foresee. AI is big, its going to be disruptive beyond anything we have witnessed in earlier industrial revolutions. We have evidence of this in the way governments are responding to this revolution like none other that preceded it, for example the in May 2023, Joe Biden brought together tech CEOs at the White House to discuss issues around AI, stating that "…what you're doing has enormous potential and enormous danger (to nations, governments and society)". As he was hosting this event, deep fakes of Trump and Biden also surfaces, that expose the very challenges Biden was alluding to, in this instant, the dangers in sophisticated AI generated mimicry (Burgess, 2023). The Fourth Industrial Revolution (Philbeck & Davis, 2018) combines elements of what we understand as a Revolution in Military Affairs, a Military Revolution, and a Social Revolution; collectively AI ushers a revolution in human affairs. It is related to Industry 4.0 but also distinct. It entails a series of significant shifts away from paradigms in economic, political, and social values that span our digital, physical, and biological world.

This exploratory paper addresses the question, can AI replace human agency, and can AI-powered forecasting models help policymakers predict potential outcomes of events; support scenarios analysis and evaluate the impact of different policy options to produce strategy and plans? Does AI have the potential to inform policy and action? The short answer is 'yes.' To answer this question, I will first look the historical utility of decision models and their ability to handle complexity and unstructured nature of decisions at the strategic level. I will then examine creativity and novelty and how these characteristics impact policy, strategy plans.

## 2. WHAT IS AI?

Klaus Schwab (2015), the founder and executive chair of the World Economic Forum, points out that the preceding three industrial revolution created major societal changes, but describes the fourth industrial revolution (4IR) as fundamentally different from the three that preceded it. 4IR, he argues, is moving at an unprecedented pace and will compel us to reconsider traditional ways of living, doing business and coping to keep up with technology. While 4IR is not AI alone, but AI sits at the heart of this and catalyses and accelerates the disruptive change (Philbeck & Davis, 2018). The previous industrial revolution shave had a profound and direct impact on military affairs, 4IR will be no exception. Militaries around the world have been using machine learning as a planning aid and planning tool for some time. As an example, the Joint Theatre Level Simulation System (JTLS), a hex based simulation modelling of joint combat forces, has been in use with the US military since the 1960s.These older systems used machine learning as foundation for their analysis (Bolling, 1965). Prior to this, various forms of predictive modelling, for example the quantitative approach using the Lanchester Equation (Engel, 1954; Lanchester, 1916) and a blended model proposed by Dupuy (1979), were gainfully employed to predict outcomes of battles and engagements. Today, more advanced form of learning is possible, such as deep learning and generative learning.

There are no agreed definition or classifications of AI. As Krafte et al. (Kraftt, Young, Huang, & Bugingo, 2020) suggest that definitions are contextual and vary between policy and practice communities. Poole and Mackworth define AI as a field that studies the 'synthesis and analysis of computational agents that act intelligently' (2023, p. 3). It is not in the scope of this paper to exhaustively examine these perspective, classifications, and definitions, nor to propose such frames of reference. I begin with the proposition that AI enables machines to emulate human-like functions such as intelligence and thought and even feel and act. From this perspective alone, AI is interpreted variously in scholarship. For example, Wang (2009) proposed a classification based on structure, behaviour, capability, function, and generalised principles. Joshi (2019) summarises from a practitioner perspective, the four principal classifications offered by Hintze (2016). Of these, the two that exist, and we can experience today are Reactive AI, also called Machine learning, that emulates human responses to stimuli and produces automatic response to based on a limited set of inputs; and Memory Learning AI where reactive AI is enhanced with learning from historical date to generate decision, it is also referred to as Deep Learning. Another two futuristic AI capacities, and with them classification in the making, are Theory of Mind and Self-Aware AI. Theory of Mind AI or artificially intelligent AI would be capable of understanding human needs, emotions, beliefs, and thought processes. Joshi argues that such AI will manifest emotional intelligence. It could, for example, adopt a personality and undertake type spotting in its interaction with humans, or from data and study of personalities; something we do intuitively in our social and professional lives. Self-Aware AI is the final frontier and a hypothetical extension of AI trajectory in emulating human-like qualities and one that could potentially surpass human intelligence and transition to genuine intuition and creativity. For the purpose of this paper, I will focus on Memory Learning AI and its utility on the policy, strategy, and planning fields. There are other reference that are used and becoming increasingly popular, for example Generative AI, which employs deep learning to develop various types of content. Such classifications are based on not what how AI functions but what it produces. The range of successful applications for AI is growing and encompasses and pervading our everyday life. Booch et al. (2020) argue that we are still at the narrow end of AI applications. They assert that current applications are focused on a very goal limited and constrained by our paradigms.

AI has the potential to assume agency. An agent is someone or something that acts within an environment and context; ‘it does something’… by extension, ‘worms, dogs, thermostats, airplanes, robots, humans, companies, and countries’ are agents. However, in international relations, it requires operation and instrumentality; ‘it is the capacity, condition, or state of acting or of exerting power’, it includes ‘a person or thing through which power is exerted or an end is achieved’(Royo, 2012). A computational agent is an “agent whose decisions about its actions can be explained in terms of computation” (Poole & Mackworth, 2023), where the decision can be broken down and examined, and can be implemented in a physical device, a computer for example. An agent is intelligent when:

- What it does is appropriate for its circumstances and its goals, considering the short-term and long-term consequences of its actions.
- It is flexible to changing environments and changing goals.
- It learns from experience.
- It makes appropriate choices given its perceptual and computational limitations.

Poole & Mackworth argue that ‘all agents are limited’. This extends to both human agents and machines as no ‘agents are omniscient or omnipotent’. They conclude that agents can only observe that which sits within the scope of their experience and knowledge. Agents have finite memory which applies to machines, albeit human memory, in terms of demonstrated useability, has its limits too. In the real world, time is of the essence and as is the one factor that strategy cannot retrieve.

## 3. AI AND ITS UTILITY IN POLICY, PLANNING AND STRATEGY

Understanding typology of problems and AI’s utility against each of the typologies is essential in advancing an understanding of the utility of AI in decision analysis. Rittle and Webber (1973) identified two type of problems, Tame and Wicked. They defined tame problems as problems that are scientific or technical in nature, such problems follow rules, and if the rules are understood, a solution can be posited. This largely aligns with the concept of Technical Problems (Heifetz, Grashaw, & Linsky, 2009). Wicked problems on the other hand are problems that are socially constructed and associated with the human angle, these sit at the intersection of human behaviour, and experience. Such problems have no finite solution and can be approaches from a variety of standpoints. Human beings have evolved dealing with these kinds of problems. A less fatalistic view of such problems is the use of Adaptive Challenges, where the solution sits in zone of creative discomfort, a very subjective and people centric notion advance that Heifetz et al. advance.

While AI has demonstrated ability to absorb non-linearity well, it remains limited in its ability to create something new that outside of the trajectory from the past. While this limitation of AI may be overcome with the realisation of the hypothetical transition of AI to what Hintze (2016) refers to as Self-Aware. At present, machine learning or deep learning create only an illusion of human-like intelligence but are essentially packaging data in very much a predictable manner that other machine systems or AI approaches could also arrive at. In that sense, AI represents an efficiency in logic rather than true intelligence. The latter brings elements of constructivism, intuition and bias that are essential in human behaviour. It is in this backdrop of current state and scholarship that I will examine the utility of AI in policy, strategy, and planning. Limited memory-AI lacks many capabilities that suggest real intelligence. Machines and Humans approach problems of ‘generalisability, robustness, explainability, causal analysis, abstraction, common sense reasoning, ethics reasoning differently’ (Booch et al., 2020). It is not a matter of which is better, particularly when we deal with adaptive challenges or wicked problems.

Policy, strategy, and planning, while connected and hierarchical dependent, are very different. The relationship is illustrated below:

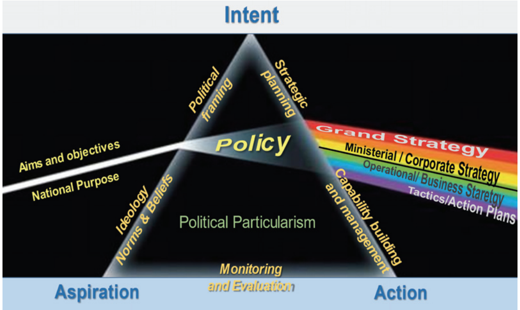


**Figure 1:** Relationship Between Policy, Strategic Planning, Strategy and Plans

Of the three, planning, whether at the strategic level or lower down is the most mechanical and adept for system integration. It is what militaries have done through various military decision-making tools such as JTLS discussed earlier and other automated planning tools that use AI effectively. Policy and strategy as significantly different.

Policy is an adaptive challenge and frequently a wicked problem. It is concerned with balancing ambitions drawn from an aspiration against resources. However, policy is politically prismed, and if perspectives and politics were removed, policy would become a mechanical undertaking and by implication and extension, challenge the very nature of government and politics in a democratic framework. AI modelled Policy could be effective but human oversight at every stage of decision analysis will remain a political necessity to ensure that the intuitive angle where AI can faulter is tackled by through human agency. Practitioner would therefore resit AI interference beyond providing inputs and analysis in the formulation of policy.

Planning at all levels relies on quantifiable and qualitative elements that frame-based analysis can support and even optimise. This is where AI can potentially offer the greatest support and potentially, once we edge towards Theory of Mind and Self-Aware AI, replace the human agent in the chain. There are areas where strategy, particularly competitive strategy, is concerned chiefly with being different and intuitive. The element of surprise is essential (Kalistratov, 2008). Strategy is dynamic, logical, and conceptual, pitted at every stage against an active, intelligent, and opposing mind set, to advance policy. Strategy creates moral and physical effects to facilitate the continuation of politics through the development and application of instruments of power. It achieves (current and future) ends of policy through the development and application of ways and means. Efforts to make strategy mechanistic have resulted in disasters and led towards a general atrophy and robbed strategy of its true purpose, where to compete and how to overcome mitigate the opposition's ability to resist. What strategy seeks to achieve is beyond the scope of what AI capabilities currently offer.

## 5. CONCLUSION

AI is rapidly evolving and any attempt to forecast its frontiers is likely to fall short of what it may one day offer. It comes with possibilities but also poses challenges. This paper focussed narrowly on the utility of AI in policy and planning, both of which were presented with dominant components that classify them as technical problems. The research finds that while policy and plans have processual and mechanical dimensions to them, competitive strategy require novelty, creativity, and innovation. AI, presently and foreseeable, lacks the element of creativity and intuition which are essential in strategy. In conjunction with human faculty, AI can be applied for testing robustness of policy and model outcomes, war game strategy, as a red-teaming aid, and to eliminating groupthink and other biases. I have drawn strategy away from that continuum based on the premise of the degree creative strategy development is currently beyond what AI offers. However, competition will drive nations and militaries to adapt AI, despite the challenges and as Forester's exploration of humanity suggests, we may delve connection with technologically that can be unhealthy for society. The cautionary tale in the Machine Stops highlighted over a century ago the realities we are fast approaching, the dangers of excessive technological dependence and the erosion of individual freedom.

## REFERENCES

[1] Bhaskar, S., Bradley, S., Sakhamuri, S., Moguilner, S., Chattu, V., Panday, S. S., & Bachan, M. (2020, November 2). "Designing Futuristic Telemedicine Using Artificial Intelligence and Robotics in the COVID-19 Era." ("Technological advancement in the era of COVID-19 - PMC")*Frontiers in Public Health*, pp. 1-7.

[2] Bolling, R. H. (1965). *The Joint Theater Level Simulation in Military Operations Other Than War.* Virginia: Joint Warfightibg Centre.

[3] Burgess, M. (2023, July 3). Trump and Biden deep fakes take AI to new scary level in live debate. *New York Post*. Retrieved July 23, 2023, from https://nypost.com/2023/07/07/trump-and-biden-deep-fakes-take-ai-to-new-scary-level-in-live-debate/

[4] Chakraborty, U., Banerjee, A., Saha, J., Sarkar, N., & Charaborty, C. (2022). *Artificial intelligence and the fourth industrial revolution.* Singapore: Jenny Stanford Publishing.

[5] Dupuy, N. T. (1979). *Numbers, Predictions, and War.* The Bobbs-Merrill Company.

[6] Engel, J. 1.-1. (1954). Engel, J., 1954, "A Verification of Lanchester's Law," , 2, pp. 163-171. *Operations Research, 2*, 163-171.

[7] Forster, E. M. (1909). The Machine Stops. *The Oxford and Cambridge Review*, pp. 1-45.

[8] Heifetz, R., Grashaw, A., & Linsky, M. (2009). *The Practice of Adaptive Leadership: Tools and Tactics for Changing Your Organisation and the World.* Boston: Harvard Business Press.

[9] Hintze, A. (2016, November 14). "Understanding the four types of AI, from reactive robots to self-aware beings." ("Understanding the four types of AI, from reactive robots to self-aware ...") *The Conversation*.

[10] Howard, J. (2019). Artificial intelligence: Implications for the future of work. *American journal of industrial medicine, 62*(11), 917-926. doi:doi.org/10.1002/ajim.23037

[11] Joshi, N. (2019, June 19). 7 Types Of Artificial Intelligence. *Forbes*.

[12] Kalistratov, A. I. (2008). The element of surprise in warfare. *Military Thought, 17*(4).

[13] Kortenkamp, D., Bonasso, R., & R., M. (1998). *Primer on artificial intelligence and robotics.* Massachusetts: MIT Press.

[14] Kraftt, P., Young, M. K., Huang, K., & Bugingo, G. (2020). Defining AI in Policy versus Practice. *AIES '20: Proceedings of the AAAI/ACM Conference on AI, Ethics, and Society*, (pp. 72-78).

[15] Lanchester, F. (1916). *Aircraft in Warfare: the Dawn of the Fourth Arm.* London: Constable and Co.

[16] Maravall, D., de Lope, J., & Martín, H. J. (2009). Hybridizing evolutionary computation and reinforcement learning for the design of almost universal controllers for autonomous robots. *Neurocomputing, 72* (4-6), 887-894.

[17] Murphy, R. (2019). *Introduction to AI robotics.* Massachusetts: MIT Press.

[18] Pagallo, U., Corrales, M., Fenwick, M., & Forgó, N. (2018). The Rise of Robotics & AI: Technological Advances & Normative Dilemmas. In M. Corrales, M. Fenwick, & N. Forgó, *Robotics, AI and the Future of Law. Perspectives in Law, Business and Innovation.* (pp. 1-13). Singapore: Springer.

[19] Philbeck, T., & Davis, N. (2018). The Fourth Indictrial Revolution: Shaping a New Era. *Journal of International Affairs, 72*(1), 17-22. Retrieved from https://www.jstor.org/stable/26588339

[20] Poole, D. L., & Mackworth, A. K. (2023). *Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents.* New York: Cambridge University Press.

[21] Raj, M., & Seamans, R. (2019). Primer on artificial intelligence and robotics. *Journal of Organisational Design, 8*(11). doi:doi.org/10.1186/s41469-019-0050-0

[22] Rittel, H., & Webber, M. (1973). by HWJ Rittel ·Dilemmas in a General Theory of Planning. *Policy Sciences, 4*(5), 155-169. Retrieved from http://www.jstor.org/stable/4531523 .

[23] Royo, J. (2012, August 28). gency and International Relations: An Alternative Lens. *E-International Relations*.

[24] Schwab, K. (2015). *The Fourth Industrial Revolution.* New York: Penguin.

# ИСТОРИЈА ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА – У ЗНАК ЈУБИЛЕЈА

# HISTORY OF OPERATIONAL RESEARCH – TO MARK THE ANNIVERSARY

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПЕДЕСЕТ ГОДИНА ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА У ВАЗДУШНОМ САОБРАЋАЈУ: ПОСЛОВАЊЕ АВИО-КОМПАНИЈЕ

# FIFTY YEARS OF OR IN AIR TRANSPORT: AIRLINE BUSINESS

МИЛИЦА КАЛИЋ, СЛАВИЦА ДОЖИЋ, ДАНИЦА БАБИЋ

Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, Београд,
m.kalic@sf.bg.ac.rs, s.dozic@sf.bg.ac.rs, d.babic@sf.bg.ac.rs,

---

***Резиме:*** *У претходних 50 година је на Симпозијуму о операционим истраживањима презентовано решавање великог броја проблема из различитих области применом техника операционих истраживања. Овај рад даје преглед и систематизацију 51 саопштеног рада из области ваздушног саобраћаја, конкретније пословања авио-компанија.*

***Кључне речи:*** *авио-компаније, технике операционих истраживања, Sym-Op-Is.*

***Abstract:*** *In the past 50 years, at the Symposium on Operational Research, OR techniques have been presented as solutions to a large number of problems in various fields. This paper provides an overview and systematization of 51 published papers in the field of air transport, more specifically, airline business.*

***Keywords:*** *Airlines, Operations Research (OR) Techniques, Sym-Op-Is.*

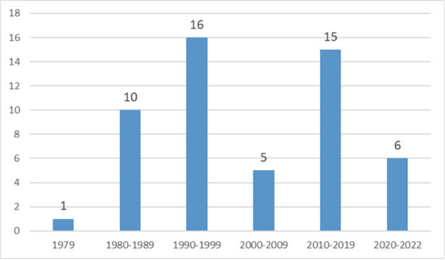
---

## 1. УВОД

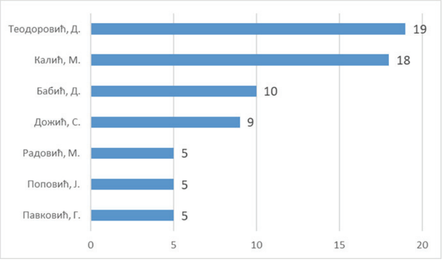
У овом раду урађена је систематизација радова из области цивилног ваздушног саобраћаја, саопштених на Симпозијуму о операционим истраживањима у протеклих 50 година. Како се систем ваздушног саобраћаја састоји из три повезана подсистема и то инфраструктуре, авио-компанија и контроле летења, треба напоменути да је у овом приказу фокус на проблемима са којима се авио-компаније свакодневно сусрећу, а који се могу решавати применом различитих метода операционих истраживања.

## 2. ЗАСТУПЉЕНОСТ РАДОВА ПО ПЕРИОДИМА И АУТОРИМА

Укупан број радова из области пословања авиокомпанија, планирања превожења, управљања ресурсима и процесима у авио-компанији, у периоду од 1974. до закључно са 2022. годином је 51. Први рад је објавио проф. Душан Теодоровић 1979. године.



**Слика 1:** Број радова по периодима



**Слика 2:** Аутори/коаутори са највећим бројем радова у овој области

На укупно тридесет конференција саопштавани су радови из ове области у којима су примењиване технике операционих истраживања. Највише радова је саопштено на конференцији која је одржана 1998. године и то укупно шест радова. Број радова по деценијама је варирао (слика 1). Деведесетих година 20. века и у другој деценији 21. века саопштено је и објављено 16, односно 15 радова респективно. У првој деценији 21. века је саопштено и објављено само пет радова.

У периоду од 1979. до 1998. најистакнутији аутор у овој области био је проф. Душан Теодоровић, који је као аутор или коаутор био заступљен у 19 радова. Затим следи проф. Милица Калић са 18 радова, која је свој први рад објавила 1991. године. Проф. Даница Бабић и проф. Славица Дожић су саопштиле и објавиле 10, односно 9 радова. Са по пет радова су заступљени проф. Јован Поповић, Горан Павковић и Маријана Радовић (слика 2).

## 3. РАСПОДЕЛА РАДОВА ПО ТЕМАМА И ТЕХНИКАМА

У табели 1 су приказане групе тема из области пословања авио-компанија, прецизније управљања процесима и ресурсима авио-компанија. Тема **Путничка потражња и сегментација тржишта** односи се на прогнозе и оцене путничке потражње, моделирање потражње у фазама стварања путовања и расподеле путовања, избор аеродрома поласка, понашање и мобилност путника и моделирање избора авио-компаније од стране путника, одређивање сегмената (група) и профила путника на основу анкетних истраживања.

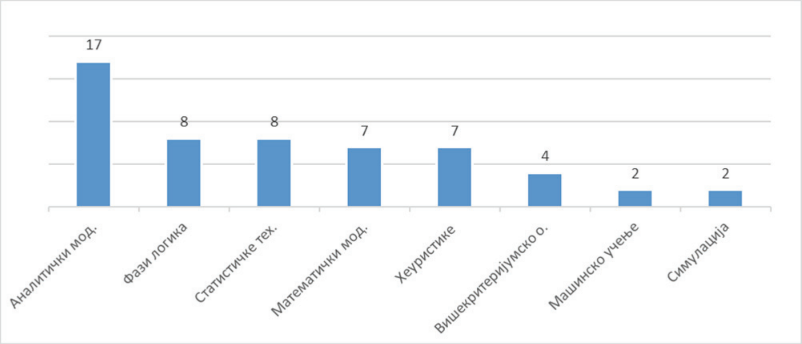
**Табела 1:** Радови по темама

| Теме | Радови | | |
|---|---|---|---|
| | **Број радова** | **Године објављивања рада** | **Аутори/коаутори** |
| Путничка потражња и сегментација тржишта | 11 | 1996, 1998 (2), 2002, 2011 (2), 2014, 2015, 2020, 2021, 2022 | Калић, Теодоровић, Радовић, Станојевић, Паскота, Андрић, Иванов, Куљанин, Дожић, Бабић Д., Кукић |
| Резервациони системи и авио-карте | 9 | 1994, 1996, 1997 (2), 1998, 2009, 2014, 2017, 2018 | Теодоровић, Поповић, Павковић, Радовић, Калић, Бабић Д., Дожић, Левајковић, Шелмић, Мацура |
| Ред летења | 9 | 1979, 1980, 1981, 1983 (2), 1989, 1998, 2003, 2004 | Теодоровић, Гвозденовић, Зорић, Стојковић, Радивојевић, Калић, Павковић, Дожић (дев. Недељковић), Јакимовска, Бабић О., Чангаловић |
| Мрежа линија | 6 | 1985, 1991, 2010, 2017, 2018 (2), 2021 | Теодоровић, Калић, Стојковић, Бабић, Д., Беговић, Левајковић, Дожић, Тимотић |
| Флота авиона | 6 | 1984, 1989, 1998, 1999, 2000, 2010 | Теодоровић, Гвозденовић, Зорић, Радовић, Дожић, Калић |
| Оперативни процеси у авио-компанијама | 5 | 1985, 1986, 1996, 1997, 2013 | Теодоровић, Бабић О., Лучић, Вукадиновић К., Куљанин, Вукићевић |
| Пословање авио-компанија | 4 | 1998, 2015, 2020, 2022 | Миросављевић, Дожић, Бабић, Д., Димитријевић, Калић, Голубовић, Јанковић, Узелац, Младеновић |

**Резервациони системи и авио-карте** укључују пројектовање резервационог система, управљање продајом седишта као и управљање приходом од продатих авио-карата, али и пројектовање интелигентног резервационог система. Поред тога, разматране су и цене авио-карата како би се приказала дисперзија. **Ред летења** се углавном односи на оперативни дневни ред летења и решавање поремећаја до којих долази због лоших метеоролошких услова, техничке неисправности авиона, загушења на аеродромима итд. Зато, авио-компанија мора да испројектује нови дневни оперативни ред летења у коме ће поједини летови да касне и/или да буду отказани. **Мрежа линија** обухвата пројектовање мреже линија у смислу њене структуре и повезаности (директни и индиректни летови) као и одређивање фреквенције летења на мрежи и линијама. **Флота авиона** је главни технички ресурс којим се обавља основни задатак авио-компаније, превоз путника и робе. Зато је од посебне важности одредити структуру и величину флоте (типове авиона, као и број авиона по сваком типу). Под **оперативним процесима у авио-компанијама** се подразумевају планирање и вођење саобраћаја кроз распоређивање техничких и људских ресурса на радне задатке. У том смислу решавају се проблеми распоређивања чланова посада на ротације ваздухоплова, врши се распоређивање авиона на руте, а такође и распоређивање авиона по гејтовима на аеродрому. На крају, издвојила се и тема која се односи на показатеље **пословања авио-компанија** и ту спадају искоришћеност путничке кабине и утицај на економику пословања, ефикасност авио-компанија, безбедност авио-компанија, као и проблем кашњења летова.

На слици 3 су приказани модели и технике који су коришћени за решавање разматраних проблема у области планирања и управљања процесима и ресурсима авио-компанија. У појединим радовима је коришћено више техника, па је зато збир радова већи од 51 (слика 3). Исто тако, треба напоменути да су два рада била прегледног карактера [43, 49].

**Аналитички модели** су у највећем броју развијани осамдесетих година, мада има и шест радова из периода 2010 – 2018 [1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 13, 22, 32, 39, 41, 42, 44, 45]. Примена **фази** логичких система и уопште теорије фази скупова је обележило деведесете године 20. века [12, 14, 15, 16, 19, 20, 23], а тек један рад је једним својим делом био базиран и на теорији фази скупова 2010. године [33]. **Статистичке анализе**, различите методе, напредне технике и алати који су коришћени у истраживањима су регресиона анализа, анализа временских серија, кластер анализа, анализа главних компоненти итд. [21, 28, 34, 35, 38, 47]. Поред тога, у оквиру квалитативног истраживања коришћен је и Делфи метод [48].



**Слика 3:** Модели и технике у радовима из ове области

У **математичко моделирање** спадају линеарно и целобројно програмирање, као и динамичко програмирање. Оваквим математичким моделима се могу решавати проблеми алокације ресурса и различитих оперативних процеса у авио-компанијама. Седам радова је било базирано на математичком програмирању (оптимизацијама), углавном из области пројектовања редова летења, резервационих система и мреже линија [12, 18, 19, 23, 24]. **Хеуристике и метахеуристике** су развијане у периоду од 1989. до 2013. године. Специјалне хеуристике су заступљене приликом решавања проблема поремећаја у извршавању реда летења, развоја интелигентног резервационог система, пројектовања оперативног реда летења и планирања флоте авио-компаније [11, 19, 29, 30, 33]. Од метахеуристика коришћене су симулирано каљење, оптимизација колонијом пчела итд. [17, 36]. **Методе**

**вишекритеријумског одлучивања**, као што су TOPSIS, AHP, метод једнаких размена (*Even Swap method*) су најчешће коришћени приликом избора типа авиона [6, 33, 40, 46]. **Машинско учење**, као подобласт вештачке интелигенције, заступљена је на конференцији која је одржана 2022. године [50, 51]. **Рачунарска симулација** је употребљена за одређивање најповољније комбинације ваздухоплова на линији као и при аукцијској продаји авио-карата [27, 31].

## 4. ЗАКЉУЧАК

На основу историјског прегледа радова који су објављени и саопштени на Симпозијумима о операционим истраживањима у периоду од 1979-2022. године може се закључити следеће:

- Најчешће истраживане теме су путничка потражња и сегментација тржишта, редови летења и резервациони системи. Радови из ових области проистекли су из магистарских теза и докторских дисертација.
- За решавање проблема у овој области, у почетку су највише коришћени аналитички модели. Са развојем хеуристика и метахеуристика, расте број радова са њиховом применом. Теорија фази скупова, укључујући и фази логику налази велику примену у различити проблемима пословања авио-компаније (моделирање путничке потражње, планирање флоте, развој интелигентног резервационог система, пројектовање мреже линија ваздушног саобраћаја, распоређивање авиона на руте, итд).

У будућности се може очекивати већи број радова у којима ће се помоћу машинског учења и нових техника базираних на вештачкој интелигенцији решавати проблеми са којима се авио-компаније сусрећу.

**Захвалница**. Ово истраживање подржано је од стране Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије кроз пројекат TP36033 (2011-2023).

## ЛИТЕРАТУРА

У списку литературе, радови су поређани хронолошким редом. Сви наведени радови се налазе у Зборницима конференције Sym-Op-Is, па су зато радови назначени са следећим информацијама: имена аутора/коаутора, година и назив рада.

[1] Теодоровић, Д. (1979). Математички модел реда летења без резервације карата и са гарантованим максималним временом чекања путника.

[2] Теодоровић, Д. (1980). Математички модел фиксног реда летења са минималним чекањем путника.

[3] Теодоровић, Д. (1981). Један метод за пројектовање реда летења.

[4] Теодоровић, Д. (1983). Пројектовање реда летења максималне поузданости у односу на метеоролошке услове.

[5] Гвозденовић, С., Зорић Д. (1983). Анализа поузданости извршавања предвиђеног реда летења.

[6] Теодоровић, Д. (1984). Вишекритеријумско рангирање типова авиона за мрежу линија домаћег ваздушног саобраћаја.

[7] Теодоровић, Д. (1985). Одређивање фреквенција летења у случају постојања конкуренције.

[8] Теодоровић, Д., Бабић, О. (1985). Примена Левиновог алгоритма за вршење ротације авиона флоте ЈАТ-а.

[9] Теодоровић, Д. (1986). Оптимална стратегија куповине горива на мрежи линија.

[10] Гвозденовић, С., Зорић Д. (1989). Техничка исправност флоте ваздухоплова као критеријум набавке.

[11] Стојковић, Г., Теодоровић, Д. (1989). Модел за оперативно дневно пројектовање реда летења.

[12] Теодоровић, Д., Калић, М., Стојковић, Г. (1991). Пројектовање мреже линија ваздушног саобраћаја применом теорије фази скупова.

[13] Поповић, Ј., Теодоровић, Д. (1994). Адаптивно управљање продајом седишта ваздухопловног превозиоца.

[14] Лучић, П., Теодоровић, Д., Вукадиновић, К. (1996). Распоређивање авиона на руте применом фази логике.

[15] Теодоровић, Д., Поповић, Ј., Павковић, Г. (1996). Управљање продајом седишта ваздухопловног превозиоца применом фази логике.

[16] Калић, М., Теодоровић, Д. (1996). Решавање проблема дистрибуције путовања применом фази логике чија су правила генерисана из примера.

[17] Лучић, П., Теодоровић, Д. (1997). Примена технике вишекритеријумског симулираног каљења на решавање проблема распоређивања посада ваздухоплова на ротације.

[18] Павковић, Г., Поповић, Ј., Теодоровић, Д. (1997). О оптималности прихода када се користи угњежден резервациони систем продаје карата.

[19] Теодоровић, Д., Поповић, Ј., Павковић, Г. (1997). Ефекти примене интелигентног резервационог система ваздухопловног превозиоца.

[20] Калић, М. (1998). Анализа осетљивости решења фази система на примеру стварања путовања у ваздушном саобраћају.

[21] Радовић, М., Станојевић, М. (1998). Предвиђање броја путника у ваздушном саобраћају.

[22] Миросављевић, П. (1998). Утицај промена коефицијента искоришћења путничке кабине на *break even point*.

[23] Павковић, Г., Поповић, Ј., Теодоровић, Д. (1998). Управљање продајом седишта ваздухопловног превозиоца на мрежи линија применом фази логике.

[24] Радивојевић, Г., Теодоровић, Д. (1998). Модел за ублажавање поремећаја реда летења.

[25] Радовић, М. (1998). Одређивање оптималних стратегија развоја авио-компаније методом динамичког програмирања .

[26] Радовић, М. (1999). Промена програма *Microsoft Project* за праћење пројекта и увођење новог типа авиона у ваздухопловну компанију.

[27] Радовић, М. (2000).Одређивање најповољније комбинације ваздухоплова на линији рачунарском симулацијом.

[28] Паскота М., Калић, М. (2002). Одређивање дискриминативности номиналних података на примеру анализе избора аеродрома поласка.

[29] Калић, М., Павковић, Г. (2003). Пројектовање оперативног дневног реда летења: Пример Jat Airways.

[30] Недељковић, С., Јакимовска, В., Бабић, О., Чангаловић, М. (2004). Пројектовање дневног оперативног реда летења.

[31] Радовић, М., Калић, М. (2009). Симулација аукцијске продаје авио-карата.

[32] Бабић, Д. (2010). Анализа осетљивости решења модела за оцену профита авио-превозиоца у случају куповине аеродромског слота ради проширења мреже линија.

[33] Дожић, С., Калић М. (2010) Трофазни модел планирања флоте авиопревозиоца.

[34] Андрић, В., Калић, М. (2011). Модел дискретног избора авиопревозиоца на аеродрому Никола Тесла.

[35] Иванов, Н., Калић, М. (2011). Market segmentation of air passengers using cluster analysis: Belgrade airport case study.

[36] Куљанин, Ј., Вукићевић, И. (2013). Gate Assignment by Using Bee Colony Optimization.

[37] Бабић, Д., Дожић, С. (2014). Price dispersion in deregulated market – case study: Warsaw airport.

[38] Куљанин, Ј., Паскота. М., Калић, М. (2014). Principal Component Analysis as a Tool in Understanding the Airline Choice.

[39] Куљанин, Ј., Калић, М. (2015). Мобилност путника у случају формирања алијанси са комплементарним рутама: студија случаја авиокомпанија *Air Serbia* и *Etihad Airways*.

[40] Дожић, С., Бабић, Д. (2015). Ефикасност авиокомпанија у Европској унији: примена *AHP* и *DEA* метода.

[41] Левајковић, Т., Бабић, Д., Калић, М. (2017). Airline revenue management for complex networks.

[42] Бабић, Д., Беговић, Б., Левајковић, Т. (2017). From loyalty to fear: passengers' preferences and their impact on the airline network structure.

[43] Бабић, Д., Калић, М., Шелмић, М., Мацура, Д. (2018). Преглед стохастичких приступа у моделирању управљања продајом седишта у ваздушном и железничком саобраћају.

[44] Бабић, Д., Беговић, Б., Левајковић, Т. (2018). Fear of flying effects on optimal network structure in a monopoly airline market.

[45] Дожић, С. (2018) Self-connecting путници и њихов утицај на промену повезаности мреже авиокомпаније и аеродрома.

[46] Дожић, С., Димитријевић, Б., Калић, М. (2020). Methodological framework for determining the airlines safety index.

[47] Калић, М., Дожић, С., Бабић, Д. (2020) Air passenger forecasting models for Airport Tivat.

[48] Кукић, К., Дожић, С., Бабић, Д., Калић, М. (2021). Delphi survey: the future of air transport in Serbia.

[49] Тимотић, Д., Калић, М. (2021). Complex Network Theory and its Applications in Air Transport.

[50] Кукић, К., Дожић, С., Бабић, Д., Калић, М. (2022). A decision tree model for airport access mode choice: Serbian air transport market.

[51] Голубовић, Н., Јанковић, С., Узелац, А., Младеновић, С. (2022) Предвиђање кашњења летова у доласку коришћењем машинског учења.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# УТИЦАЈ ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА НА РАЗВОЈ ТЕОРИЈЕ И ПРАКСЕ ВОЈНИХ НАУКА У ПОСЛЕДЊИХ 50 ГОДИНА

# THE INFLUENCE OF OPERATIONAL RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF THE THEORY AND PRACTICE OF MILITARY SCIENCES

МИРОСЛАВ ТЕРЗИЋ[1], СПАСОЈЕ МУЧИБАБИЋ[2]

[1] Школа националне одбране „Војвода Радомир Путник”, Универзитет одбране, Београд,
miroslav.terzic@mod.gov.rs
[2] Евроазијски безбедносни форум, Београд, sspasoje88@gmail.com

---

***Резиме:*** *У раду су анализирана искуства из примене метода операционих истраживања током реализације вежби јединица тактичког и оперативног нивоа, током израде научних и стручних радова. На основу анализе научно-стручних конференција, тактичких и оперативних затадака, мастер радова и докторских дисертација које се реализују на Универзитету одбране дошло се до закључака о утицају операционих истраживања на развој теорије и праксе војних наука. Ради унапређења теорије и праксе војних наука, посебно развоја метода које се примењују у војним наукама, предвиђају се правци даље примене операционих истраживања у војним наукама.*

***Кључне речи:*** *Операциона истраживања, теорија, прака, војне науке.*

***Abstract:*** *The paper analyzed experiences from the application of operational research methods during the implementation of exercises of tactical and operational level units, during the preparation of scientific and professional papers. Based on the analysis of scientific-professional conferences, tactical and operational tasks, master's theses and doctoral dissertations that are realized at the University of Defense, conclusions were reached about the influence of operational research on the development of the theory and practice of military sciences. In order to improve the theory and practice of military sciences, especially the development of methods applied in military sciences, directions for the further application of operational research in military sciences are foreseen.*

***Keywords:*** *Operational research, theory, practice, military science.*

---

## 1. УВОД

Операциона истраживања као скуп метода и алата дају подршку (помажу) систему као што је Министарство одбране и Војка Србије у процесима доношења одлука од најнижег до највишег нивоа. Један сегмент подршке усмерен је према приреми и извођењу војних операција (оружане борбе). Оружана борба представља објекат истраживања војних наука а предмет истраживања војних наука су појаве, процеси и односи који се догађају у оквиру оружане борбе и у вези са оружаном борбом.

Ради унапређења теорије и праксе војних наука, користе се опште и посебне научне методе, између осталих и операциона истраживања. Операционим истраживањима се помаже код идентификације одређених војних (тактичких и оперативнох) проблема, анализе тих проблема и предлога решења идентификованих и анализираних проблема. Операциона истраживања се помињу од симпозијума о војним наукама 1971. године у Београду па до 2023. године, кроз различите облике примене операционих истраживања у одбрани. Због тога главни део рада обухвата анализу примене операционих истраживања у војним наукама у последњих 50 година и тенденције примене операционих истраживања у војним наукама.

## 2. ПРИМЕНА ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА У ВОЈНИМ НАУКАМА У ПОСЛЕДЊИХ 50 ГОДИНА

Историјски посматрано, сукоби су испољавали многе специфичности од неоружаних и неборбених активности до борбених дејстава. Специфичности сукоба су предмет истраживања многих наука из различитих поља (друштвено-хуманистичко, техничко-технолошко, медицинско и др). Војне науке, такође, проучавају сукобе са тежиштем на оружани аспект сукоба.

Већина војних теоретичара је сагласна да су базичне војне науке: (Војна) Стратегија, Оператика и Тактика. [1, 2, 3, 4, 5] Објекат истраживања војних наука је оружана борба[1], док предмет истраживања војних наука обухвата специфичности оружане борбе на различитим нивоима које нису истражиле друге науке. Предмет истраживања (Војне) Стратегије су све оне специфичности које се испољавају у оквиру оружане борбе у целини а које до сада нису довољно истражене. Предмет истраживања Тактике су све специфичности које се испољавају у оквиру појединачних борбених дејстава, док предмет истраживања Оператике као војне науке би обухватао специфичности које повезују борбена дејства са оружаном борбом у целини. Војна теорија од половине 20. века и у 21. веку за објекат оператике узима војну операцију која обједињава и повезује борбена дејства у једну целину, и доприноси достизању циљева које је поставила (Војна) Стратегија. На основу тога предмет истраживања Оператике као војне науке обухвата све оне специфичности које се испољавају током припреме и извођења војних операција а нису до сада истражене. Војне науке имају специфичан језик и теорију који су развијени одређеним симболима и терминима а особени су само за војне науке (нпр. симболи за војне јединице, симболи за борбена дејства, борбене тактичке радње, термини: оперативни развој, садејство, маневар и сл.). Војне науке нису довољно изградиле специфичан метод истраживања који је за њих особен већ користе опште научне методе и методе истраживања других наука. Често се помиње да метода ратних игара помаже у разумевању војних операција и борбених дејстава али да још није довољно развијена да би постала посебна научна метода.

На развој теорије и праксе војних наука велики утицај остварују искуства из борбених дејстава током сукоба. Борбена искуства су уграђивана у доктинарна документа, доктрине, правила, упутства, приручнике, уџбенике и сл. На основу доктрина, правила и упутстава су планиране војне операције на различитим нивоима. Током планирања војних операција, у миру и у рату, често су коришћене методе операционих истраживања ради израде сценарија борбених дестава (оперативних задатака) и ради подршке командантима за доношење одлука, решавања одређених логистичких проблема, прорачуна могућности борбених система, извођења ратних игара, процене ефикасности борбених система и сл.

Током решавања стратегијских, оперативних и тактичких проблема велики допринос су дале Вишекритеријумска оптимизација, Теорија игара, Редови чекања и Транспортни проблеми. У последњој деценији 21. века, за подршку решавању оперативно-стратегијских проблема користе се методе и алати попуту Географског информационог система, Симулације, Аналитичког хијерархисјког процеса и Fuzzy логике.

Заступљеност операционих истраживања у бившој Југословенскох народној армији, бившој Војци Југославије и бившој Војсци Србије и Црне горе истраживали су поједини аутори [6]. У периоду од 1974. године до 1991. године, статистички узевши, није било много радова на симпозијумима а од купног броја радова, радови припадника тадашње војске били су заступљени, процентуално, од 5% до 10%. Од 1992. године до 2005. године припадници тадашње Војске Југославије и Војске Србије су на симпозијумима из операционих

---

[1] Већина аутора је сагласна да објекат војних наука може бити оружана борба.

истраживања публиковали од, оријентирно, 10% до 20% од укупног броја радова. У периоду од 2006. до 2012. године припадници Војске Србије су публиковали од 20% до 25% научно-стручних радова на симпозијумима из операционих истраживања.

У последњих десет година припадници Министарства одбране и Војске Србије су публиковали више десетина радова из области операционих истраживања у функцији одбране на симпозијумима из Операционих истраживања. У секцији Примена операционих истраживања у одбрани, припадници МО и ВС су публиковали 96 научно-стручних радова а ван те секције су публиковали око 30 радова. За више од половине публикованих радова са сигурношћу се може тврдити да повезују операциона истраживања и војне науке. Тиме су операциона истраживања остварила одређени утицај на развој војних наука. На графику број 1. приказан је број публикованих радова припадника МО и ВС на конференцији SYMOPIS у секцији Примена операционих истраживања у одбрани за последњих 10 година.

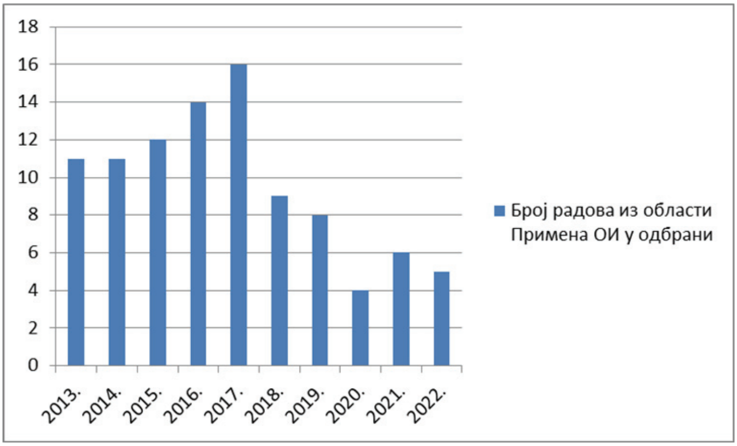


График 1: Приказ броја публикованих радова на SYMOPIS-u за последњих 10 година у секцијји Примена операционих истраживања у одбрани

Анализом графика број 1. могуће је уочити тренд пораста броја радова припадника МО и ВС до 2017. године а од 2017. године тренд опадања броја публикованих радова из области операционих истраживања. Тренд пораста броја радова из операционих истраживњања до 2017. године можда лежи у чињеници да је у том периоду био највећи број пријављених и одбрањених докторских дисертација из ДХ поља (војне науке и Менаџмент у одбрани) на Универзитету одбране. [прим. аут]

У претходном периоду, на Универзитету одбране Републике Србије, у већини докторских дисертација из друштвено-хуманистичког поља (војне науке и Менаџмент у одбрани) су примењене методе операционих истраживања. [прим. аут]. На пример, Мирослав Терзић у докторској дисертацији под називом Моделовање војнообавештајне јединице за подршку одлучивању у операцијама здружених снага, између осталог, примењује методу Аналитичких хијерархијских процеса за подршку у доношењу одлуке код избора адекватног модела војнообавештајне јединице. [7]

Од 2016. године у МО и ВС интензивно се користи Географски информациони систем као веома користан алат током процеса оперативног планирања војних операција на опеативно-сратегијском нивоу. Географски информациони сисем представља веома користан алат за обавештајне анализе и разне врсте процена (од домета радио-комуникација, домета електронског ометања, зоне извиђања, физичко-географске и социјалне карактеристике зоне операције и сл.) чиме се повећава ефикасност рада команде током процеса оперативног планирања и ефикасност употребе јединица. Наставници из Школе националне одбране „Војвода Радомир Путник“ током моделовања оперативно-стратегијских задатака користе дигиталне карте и ГИС за одређивање граница зоне операције и почетне процене свих димензија опертивног окружења, непријатељевих и сопствених снага у зони операције.

За димензионисање и обликовање војних операција веома је важна анализа чиниоца војних операција која обухвата: циљ операције, снаге у операцији, простор, време и информације. Снаге у операцији представљају укупност људских и материјалних ресурса за припрему и извођење операције. Људски ресурс је веома значајан (најзначајнији) чинилац операције. У савременим сукобима све више се употребљава савремена ратна техника роботизованог типа којом се управља помоћу вештачке интелигенције и тиме се ствара привид да је људски ресурс мање значајан. Међутим, људски ресурс у квантитативном смислу може опадати али зато у квалитативном смислу људски ресурс треба напредовати. То подразумева да се људски потенцијал, од војника до команде која планира операцију и команданта који доноси одлуку, треба перманентно усавршавати да управља савременом борбеном техником и доноси оптималне одлуке у кратком временском року помоћу различитих техника и метода.

Током реализације наставе, вежби и обуке појединаца, јединица и команди, у ВС се планирају и изводе вежбе подржане рачунарским симулацијама за решавање тактичких, оперативних и стратегијских задатака. Припрема, организација и извођење вежби треба да обезбеди приближно реалне услове у којима ће се и изводити операције оружаних снага. Након завршене вежбе реализује се поступак који се назива Анализа после активности. Анализа после активности представља нов начин унапређења обуке у Војсци Србије на којој се идентификују слабости које би требало превазићи. С обзиром да Симулациони софтвер има могућност моделовања различитих врста вежби, али искључиво уз сагласност претпостављене команде и уз сарадњу са експертима из наведене области, искуство након завршених вежби (научене лекције) може утицати на прилагођавање одређених упутстава, правила и доктрина. Овај начин провере и унапређења доктринарних принципа је заживео у оружаним снагама страних држава (нпр. ОС САД) а резултати добијени на овај начин представљају релевантне показатеље који утичу на промену или дораду доктринарних принципа кроз систем вредновања искустава. [8, стр. 11]

## 3. ТЕНДЕНЦИЈЕ ПРИМЕНЕ ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА У ВОЈНИМ НАУКАМА

У досадашњој теорији и пракси припреме и извођења оружане борбе, операциона истраживања дају одређени допринос, нарочито у процесу доношења одлука на оперативно-тактичком нивоу. Сукоби од караја 20. века и у прве две деценије 21. века указују, између осталог, на тенденцију све веће употребе аутоматизованих борбених система и вештачке интелигенције. Та чињеница указује на неопходност ефектне процене ситуације, доношења адекватних одлука у краћем временском периоду, брзо прилагођавање новонасталим ситуацијама. Сходно томе различите технике и методе операционих истраживања добијају на значају када је у питању њихова примена у војним наукама.

Један од примера унапређења примене метода операционих истраживања у савременим војним операцијама може се односити на примену Делфи методе[2] уместо АХП методе ради подршке одлучивању. На пример, у процесу оперативног планирања када постоји довољно времена, од првог до петог корака (од иницирања до поређења варијаната употребе) износи се проблем, анализира се идентификовани проблем и реализују се реферисања на којима се могу чути мишљења свих чланова команде (специјалистичких штабних официра). Ако је

---

[2] енг. Delphi method подразумева процес предвиђања и структурирани комуникациони оквир заснован на резултатима више рунди упитника који су послати панелу стручњака. Након сваке рун де упитника, стручњацима се представља збирни резиме последње рунде, омогућавајући сваком стручњаку да прилагоди своје одговоре према одговору групе.

команда која планира војну операцију добила почетне податке који указују да непријатељ располаже даљински пилотираним ваздухопловима одређене врсте, тада експерти (специјалистички штабни официри), који већ имају нека знања и неке податке о тим летелицама, износе одређене процене (свако са свог аспекта). Након процена ангажују одређене органе за прикупљање обавештајних података о тим летелицама, размењују податке између себе и долазе до нових сазнања о том проблему. Дакле у овом примеру постоји могућност примене Делфи методе, само треба наћи најефикаснији начин како је применити у току планирања војних опрација. Од почетка 21. века поједини истраживачи истичу да је за подршку одлучивању у конфликтним ситуацијама веома корисна Fuzzy метода. [9, стр 136]

У последњем периоду примењује се свеобухватнији приступ у решавању појединих тактичких и оперативних проблема по хибридном концепту где се комбинују Fuzzy-AHP метода и Fuzzy-TOPSIS метода. Ове методе су коришћене код избора адекватног начина обуке војника за извођење борбених дејстава у стресним ситуацијама. Такође Fuzzy логика се примењује код избора адекватног модела (алгоритма) за борбу против беспилотних летелица и сл.

Географски информациони систем ако је благовремено ажуриран са подацима који се могу прикупити из других извора представља веома моћан алат током припреме и извођења војних операција. Процес оперативног планирања није могућ без обавештајне припреме бојишта која представља процену окружења (зоне операције), процену сопствених снага, процену непријатеља и интеграцију (утицај) окружења на непријатељеве снаге и утицај окружења на сопствене снаге. Код процене окружења веома је важно поседовати актуелне (ажуриране) податке о физичко-географским карактеристикама, социолошком, економским, информационим и полититчким. Сви ти подаци се налазе у ГИС-у а за додатне податке и непроверене податке планирају се одређени начини прикупљања обавештајних података. Резултати анализа и процена током оперативног планирања се уз помоћ ГИС-а приказују у облику лејера комбинованих модификованих препрека, лејера комбинованих електромагнетних препрека, лејера догађаја, лејера супозиција, електронске слике бојишта, оперативне слике бојишта (зоне операције). Дакле, географски информациони систем представља незаобилазан алат који се корсти у процесу оперативног планирања војних опеарација и од чијег ажурирања зависи ефикасност процене ситуације.

Савремени начин обуке ради припреме појединаца, јединица и команди за планирање и извођење војних операција, између осталог, захтева увежбавање уз коришћење неке врсте симулација. Симулације дају велики допринос у обуци коришћењем симулатора (најчешће симулационог софтвера). Симулациони софтвер треба да буде ажуран и да даје адекватне одговоре на све догађаје и супозиције. Током реализације вежби уз помоћ симулационог софтвера идентификују се оперативно-тактички проблеми чијим разумевањем и изналажењем решења је могуће унапредити теорију и праксу припреме и извођења војних операција. Унапређивањем теорије и праксе војних операција уз помоћ симулационих софтвера утиче се и на развој војних наука.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Министарство одбране и Војска Србије у претходних 50 година улажу велике напоре ради развоја и примена метода и алата операционих истраживања кроз учешће у организацији Симпозијума о операционим истраживањима и публиковање научно-стручних радова који повезују операциона истраживања и систем одбране. У последњих педесет година припадници МО и ВС су публиковали више стотина радова на симпозијумима из операционих истраживања. Поред тога у више десетина докторских дисертација из друштвено-хуманистичког поља су примењене методе операционих истраживања.

Правци даљег утцаја операционих истраживања на војне науке (Стратегију, Оператику и Тактику) обухватају:

- изналажење могућности свеобухватног приступа у решавању оперативно-тактичких проблема помоћу комбинације различитих метода операционих истраживања (нпр. Fuzzy-AHP, Fuzzy-TOPSIS и сл);
- пераманентно ажурирање и примена Географског информационог система као незаобилазног алата који пружа помоћ у процени ситуације и визуелизацији зоне операције током припрема и извођења војних операција;
- употреба симулационог софтвера ради обуке појединца, јединице и команде за извођење војних операција.

## ЛИТЕРАТУРА

[52] *Војна наука* – зборник радова са научног скупа, Војноиздавачки завод, Београд, 1971.

[53] *Теоријски и практични аспекти савремених операција – зборник радова*, Научно-стручни скуп, Војна академија, Школа националне одбране, Београд, 2004.

[54] *Војна наука и војна доктрина* – зборник радова, Симпозијум о војној науци, Институт за војностратегијска истраживања, Београд, 1998.

[55] Научна изграђеност и чиниоци војне стратегије – зборник радова, Институт ратне вештине, Београд, 2001.

[56] *Науке одбране – зборник радова*, Научно-стручни скуп са међународним учешћем, Војна академија, Београд, 2011.

[57] Спасоје Мучибабић и др. *Заступљеност операционих истраживања из Војске на симописима*, Симпозијум из операционих истраживања SYM-OP-IS 2013, Златибор, 08 – 11.09.2013, стр. 396. – 401.

[58] Мирослав Терзић, Моделовање војнообавештајне јединице за подршку одлучивању у операцијма здружених снага – докторска дисертација, Војна академија, Београд, 2015.

[59] Душан Добрић, Планирање и извођење вежби подржаних рачунарским симулацијама у решавању задатака из области III мисије Војске Србије – стручни рад, Школа националне одбране „Војвода Радомир Путник“, Београд, 2023.

[60] Спасоје Мучибабић, *Одлучивање у конфликтним ситуацијама,* Војна академија, Београд, 2003.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# УЛОГА SYMOPIS-А У РАЗВОЈУ И ПРИМЕНИ ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА У ВОЈСЦИ У ПРОТЕКЛИХ 50 ГОДИНА

# THE ROLE OF SYMOPIS IN THE DEVELOPMENT AND APPLICATION OF OPERATIONAL RESEARCH IN THE ARMY OVER THE PAST 50 YEARS

СПАСОЈЕ МУЧИБАБИЋ[1], БРАНИСЛАВ НИКОЛИЋ[2], МІТАР КОВАЧ[3] ,ЗОРАН ОБРАДОВИЋ[4]

[1] Евроазијски безбедносни форум, Београд, sspasoje88@gmail.com
[2] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, bane.nnv@gmail.com
[3] Евроазијски безбедносни форум, Београд, mitar.kovac@gmail.com
[4] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, obradovicz291@gmail.com

---

***Резиме:*** *Од самог почетка Симпозијум о операционим истраживањима представља један од најзначајнијих научностручних скупова за систем одбране и безбедности Републике Србије. На симпозијумима о операционим истраживањима се континуирано износе најзначајнији проблеми и решења у области војне примене модела и метода операционих истраживања. У овом раду направљен је аналитички осврт на досадашње учешће припадника Министарства одбране и Војске на симпозијумима и њиховом доприносу својим стручним радовима, развоју области операционих истраживања. Протеклих 50 година трајања SYM-OP-IS-а, са становишта његовог значаја за Војску, могуће је посматрати кроз три карактеристична периода. Ови периоди су уско везани за називе Војски из бивших држава у којима су постојале. У раду је дат приказ постигнутих резултата по појединим периодима*

***Кључне речи:*** *Операциона истраживања, SYM-OP-IS, Карактеристични периоди учешћа.*

***Abstract:*** *The symposium about operational researches, from its very beginning, represents for the Army, one of the largest scientific and professional gatherings during which the most significant problems and solutions in the military application of models and methods of operational researches have constantly been treated. This work also deals with the participation of the members of the Ministry of the Defence and Army in symposium and their contribution to the development of operational researches through their expert works. Last fifty years of SYM-OP-IS, viewing its Importance for the Army, can be observed through three particular periods. These periods are tightly connected to the titles of the Armies which existed in the former republics. In this work the achieved results in certain periods have been given*

***Keywords:*** *Operational researches, SYM-OP-IS, characteristic periods of participation.*

---

## 1. УВОД

Већ 50 година, непрекидно, одржава се Симпозијум о операционим истраживањима (SYM-OP-IS), доприносећи афирмацији интелектуалне и стручне виталности операционих истраживача који делују у области операционих истраживања.

Симпозијум представља националну конференцију са међународним учешћем, која једном годишње окупља операционе истраживаче, како теоретичаре тако и стручњаке из праксе, са циљем да се размене научне и стручне информације, пренесу искуства и саопште нови резултати постигнути у развоју и примени метода операционих истраживања у различитим областима људске делатности.

На основу прикупљених и обрађених података о учешћу припадника МО и Војске, на до сада одржаним симпозијумима, могуће је издвојити три карактеристична временска периода, који су уско повезани са називом војске и бивших држава у којој је она постојала. Ти периоди су следећи:

**I период** – период постојања бивше Југословенске народне армије – ЈНА (од почетка рада SYM-OP-IS-а 1974. године до 1992. године);

**II период** – период постојања Војске Југославије и Војске Србије и Црне Горе што је повезано са периодом постојања бивших држава Савезне Републике Југославије и Државне заједнице Србија и Црна Гора (од 1992. године до 2006. године) и

**III период** – актуелни период постојања Војске Србије (од 2006. године до сада).

## 2. ЗАСТУПЉЕНОСТ ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА У БИВШОЈ ЈНА

Приказ дела статистичких података о заступљености примене операционих истраживања у I периоду, тј. периоду постојања бивше ЈНА, дат је у табели 1. У овом периоду је одржано 18 симпозијума, и на сваком од њих су узели учешће припадници бивше ЈНА (у даљем тексту Војске). Евидентно је, на основу података из обрађених зборника радова, да се од десетог симпозијума (одржаног 1983. године у Херцег Новом), Војска појављује као суорганизатор, што траје непрекидно до овогодишњег јубиларног 50. SYM-OP-IS-а. За овај период је карактеристично да се на SYM-OP-IS-у, почиње формирати и повремено ради секција под називом „Војне примене“, која је радила на три одржана симпозијума (1985, 1986. и 1990.). Дакле, да се закључити да постојање ове секције у овом периоду није у континуитету повезано са учешћем Војске као једног од суорганизатора SYM-OP-IS-а.

У табели 1. су наведени подаци који се односе на: редни број по реду одржаног симпозијума, години одржавања, главном организатору, месту и датуму одржавања, укупно објављеним (у зборнику штампаним) радовима, о броју објављених радова од стране припадника Војске и броју аутора који су написали те радове, затим о врсти истраживања (основна или примењена) као и припадности рада (област војних наука, техничко-технолошко поље и предмет логистике). Преглед скраћеница коришћених у табели дат је непосредно испод табеле, уз напомену да се исте скраћенице односе и на остале табеле. Да се приметити да су у овом периоду скоро сви симпозијуми одржани у Херцег Новом са изузетком три симпозијума крајем осамдесетих година, од којих је један одржан на Брионима, а два у Купарима.

**Табела 1:** Статистички подаци за I период

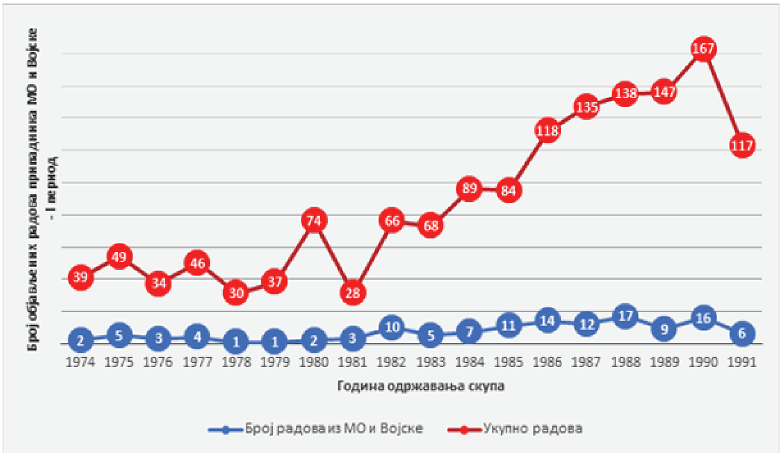
| РБ | Год. | Организатор | Место (датум) | Укупно радова | Радови Војске | Број аутора | Врста истраживања | | Области примене | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | ОИ | ПИ | ВН | ТТН | Л |
| 1. | 1974 | ИМП, ИЕЈ | Херцег Нови (22-24.10.) | 39 | 2 | 2 | 2 | - | - | 2 | - |
| 2. | 1975 | ИМП | Херцег Нови (22-24.10.) | 49 | 5 | 7 | 4 | 1 | - | 4 | 1 |
| 3. | 1976 | ИМП, ИЕЈ, ФОН | Херцег Нови (20-22.10.) | 34 | 3 | 4 | 2 | 1 | - | 3 | - |
| 4. | 1977 | ИМП, ИЕЈ, ФОН | Херцег Нови (19-21.10.) | 46 | 4 | 6 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 5. | 1978 | ИМП, ИЕЈ, ФОН | Херцег Нови (19-21.10.) | 30 | 1 | 1 | 1 | - | 1 | - | - |
| 6. | 1979 | ИМП, ИЕЈ, ФОН | Херцег Нови (17-19.10.) | 37 | 1 | 1 | 1 | - | - | - | 1 |
| 7. | 1980 | ИМП,ИЕЈ,ФОН МИ | Херцег Нови (22-24.10.) | 74 | 2 | 4 | 2 | - | - | 1 | 1 |
| 8. | 1981 | ИМП, ИЕЈ, ФОН | Херцег Нови (30.9-22.10.) | 28 | 3 | 3 | 3 | - | - | 2 | 1 |
| 9. | 1982 | ИМП, ИЕЈ, ФОН | Херцег Нови (13-15.10.) | 66 | 10 | 15 | 7 | 3 | 2 | 3 | 5 |

| РБ | Год. | Организатор | Место (датум) | Укупно радова | Радови Војске | Број аутора | Врста истраживања | | Области примене | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | ОИ | ПИ | ВН | ТТН | Л |
| 10. | 1983 | ИМП, ИЕЈ, ФОН | Херцег Нови (04-07.10.) | 68 | 5 | 5 | 4 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 11. | 1984 | ИМП, ИЕЈ, ФОН | Херцег Нови (08-10.10.) | 89 | 7 | 7 | 7 | - | 2 | 3 | 2 |
| 12. | 1985 | ИМП, ИЕЈ, ФОН | Херцег Нови (01-04.10.) | 84 | 11 | 13 | 11 | - | 3 | 2 | 6 |
| 13. | 1986 | ИМП, ИЕЈ, ФОН | Херцег Нови (07-10.10.) | 118 | 14 | 16 | 10 | 4 | 2 | 6 | 6 |
| 14. | 1987 | ИМП, ИЕЈ, ФОН, СбФ | Херцег Нови (06-09.10.) | 135 | 12 | 17 | 2 | 10 | 1 | 8 | 3 |
| 15. | 1988 | ИМП,ИЕЈ,ФОН СбФ, ЕФ Зг | Бриони (06-09.10.) | 138 | 17 | 31 | 13 | 4 | 2 | 1 | 14 |
| 16. | 1989 | ИМП,ИЕЈ,ФОН СбФ, ЕФ Зг | Купари (10-13.10.) | 147 | 9 | 17 | 7 | 2 | 1 | - | 8 |
| 17. | 1990 | ИМП,ЕI,ФОН, СбФ, ЕФ Зг | Купари (09-12.10.) | 167 | 16 | 25 | 10 | 6 | 3 | - | 13 |
| 18. | 1991 | ИМП, ЕI, ФОН, СбФ | Херцег Нови (08-11.10.) | 117 | 6 | 6 | 3 | 3 | - | 1 | 5 |

ИМП – Институт „Михајло Пупин– Београд
ИЕЈ – Институт за економику Југославије
ФОН – Факултет организационих наука Београд
МИ – Математички институт Београд
СбФ – Саобраћајни факултет Београд
ЕФ Зг – Економски факултет Загреб
ЕИ – Економски Институт Београд
ЕФ – Економски факултет Београд
РГФ – Рударско-геолошки факултет Београд
МО и В – Министарство одбране и Војска
МФ Бг – Машински факултет Београд
ПМФ – Природно-математички факултет Београд
САНУ – Српска академија наука и уметности
ВГГШ Бг – Висока грађевинско-геодетска школа Београд
ОИ – Основна истраживања
ПИ – Примењена истраживања
ВН – Област Војних наука (Тактика, Стратегија, Оператика, Руковођење и командовање)
ТТН – Техничко-технолошке поље
Л – Предмет  Логистика (Снабдевање, Одржавање, Финансије, Транспорт)

Треба посебно истаћи, да се од 1991. године, због разбијања Југославије, почињу да одржавају два симпозијума из операционих истраживања, један у оквиру Србије и Црне Горе и други у оквиру Хрватске и Словеније. Тако да се радови у табели 1, за 1991. годину односе на радове од стране аутора из Србије и Црне Горе [1].

Посебно је карактеристично за I период да су аутори из редова организационих структура Војске индивидуално узимали учешће на свим одржаним симпозијумима. Ово још више долази до изражаја, ако се узме у обзир да се Војска као суорганизатор појављује након десетак одржаних симпозијума и да је секција „Војне примене“ у овом периоду у зачетку формирања и рада. Графички приказ броја радова припадника МО и Војске у односу на укупно објављен број радова у I периоду, дат је на слици 1. На основу овог приказа да се закључити да је скоро у пропорционалном односу пораст броја радова припадника војске пратио укупан број објављених радова на симпозијумима.



**Слика 1:** Графички приказ броја радова припадника МО и Војске у односу на укупно објављен број радова у I периоду

## 3. ЗАСТУПЉЕНОСТ ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА У БИВШОЈ ВОЈСЦИ ЈУГОСЛАВИЈЕ И ВОЈСЦИ СЦГ

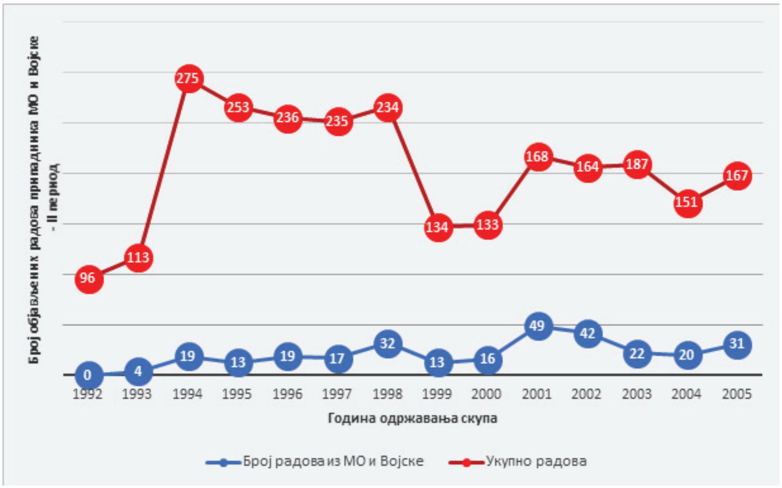
Приказ дела статистичких података о заступљености примене операционих истраживања у II периоду, тј. периоду постојања бивше Војске Југославије и Војске Србије и Црне Горе, дат је у табели 2. У овом периоду је одржано укупно 14 симпозијума, и то од 1992. године до 2005. године. На сваком од њих Војска је била у улози суорганизатора уз напомену да је била главни организатор двадесетосмог SYM-OP-IS-a, одржаног 2001. године у Београду. Ако се посматра место одржавања, за овај период је карактеристично да се често мењало место одржавања као и да је највише пута одржан у Београду. Ово је и разумљиво, ако се детаљније анализирају општи услови у земљи у овом периоду (период распада бивше СФРЈ, ратни услови, време бомбардовања 1999. године).

**Табела 2:** Статистички подаци за II период

| РБ | Год. | Организатор | Место (датум) | Укупно радова | Радови Војске | Број аутора | Врста истраживања | | Области примене | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | ОИ | ПИ | ВН | ТТН | Л |
| 19. | 1992 | ИМП Београд | Београд | 96 | | | | | | | |
| 20. | 1993 | СбФ Београд | Београд (05-10.10.) | 113 | 4 | 5 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 |
| 21. | 1994 | ИМП, ЕИ, ФОН СбФ, ЕФ, РГФ | Котор (04-07.10.) | 275 | 19 | 35 | 14 | 5 | - | 6 | 13 |
| 22. | 1995 | РГФ Београд | Д. Милановац (03-07.10.) | 253 | 13 | 22 | 9 | 4 | 2 | - | 11 |
| 23. | 1996 | ЕФ Београд | Златибор (01-05.10.) | 236 | 19 | 33 | 9 | 10 | 2 | - | 17 |
| 24. | 1997 | ЕИ Београд | Бечићи (07.-10.10.) | 235 | 17 | 20 | 13 | 4 | 3 | 7 | 7 |
| 25. | 1998 | ИМП Београд | Херцег Нови (21-24.09.) | 234 | 32 | 50 | 25 | 7 | 9 | 7 | 16 |

| РБ | Год. | Организатор | Место (датум) | Укупно радова | Радови Војске | Број аутора | Врста истраживања | | Области примене | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | ОИ | ПИ | ВН | ТТН | Л |
| 26. | 1999 | ФОН Београд | Београд | 134 | 13 | 21 | 11 | 2 | 3 | 6 | 4 |
| 27. | 2000 | СбФ Београд | Београд (10-13.10.) | 133 | 16 | 23 | 13 | 3 | 5 | 3 | 8 |
| 28. | 2001 | МО и ВЈ | Београд (02-05.10.) | 168 | 49 | 79 | 26 | 23 | 28 | 6 | 15 |
| 29. | 2002 | МФ Београд | Тара (09-12.10.) | 164 | 42 | 58 | 25 | 17 | 4 | 5 | 33 |
| 30. | 2003 | ПМФ и МИ САНУ | Херцег Нови (30.9-03.10.) | 187 | 22 | 33 | 17 | 5 | 6 | 3 | 13 |
| 31. | 2004 | РГФ Београд | Фрушка Гора (14-17.09.) | 151 | 20 | 30 | 14 | 6 | 6 | 5 | 9 |
| 32. | 2005 | ЕФ Београд | Врњ. Бања (27-30.09.) | 167 | 31 | 46 | 17 | 14 | 4 | 5 | 22 |

Графички приказ броја радова припадника МО и Војске у односу на укупно објављен број радова у II периоду, дат је на слици 2. На основу овог приказа да се закључити следеће: да 1992. године аутори из Војске нису учествовали са својим радовима; да је од 1993. до 1998. знатно више било радова од стране „цивилних операционих истраживача“; да је 1999. године због бомбардовања био мали број радова како из цивилних структура тако и из редова Војске; да од 2000. године имамо пораст броја радова од стране аутора из Војске и да тада скоро у пропорционалном односу прати укупан број објављених радова на симпозијумима. Тако 2001. године (организатор била Војска), 49 радова је објављено од стране припадника Војске, што у односу на укупно објављен број радова те године (168) износи 29%.



**Слика 2:** Графички приказ броја радова припадника МО и Војске у односу на укупно објављен број радова у II периоду

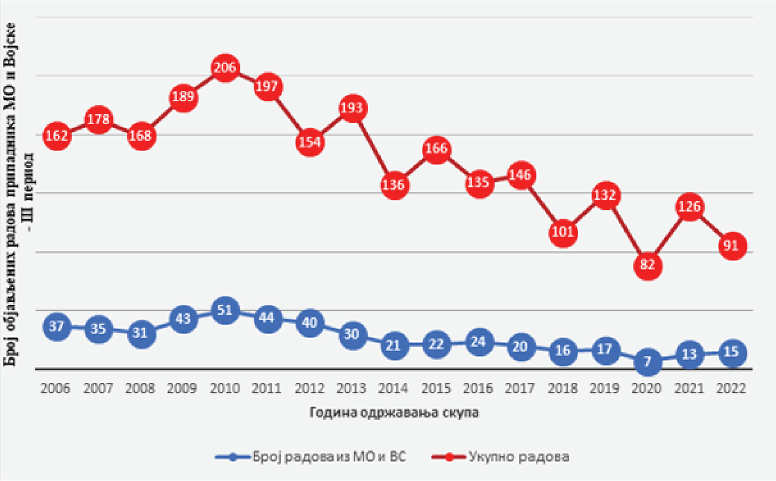
## 4. ПЕРИОД ЗАСТУПЉЕНОСТИ ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА У ВОЈСЦИ СРБИЈЕ

Приказ дела статистичких података о заступљености примене операционих истраживања у најновијем III периоду – периоду постојања Војске Србије, дат је у табели 3. У овом периоду је одржано 17 симпозијума, на којима су такође организационе структуре МО и Војске Србије узели активно учешће као суорганизатори уз податак да је МО и Војска била главни организатор тридесетседмог и четрдесеттрећег SYM-OP-IS-а, одржаних на Тари 2010. и 2016. године.

**Табела 3:** Статистички подаци за III период

| **РБ** | **Год.** | **Организатор** | **Место (датум)** | **Укупно радова** | **Радови Војске** | **Број аутора** | **Врста истраживања** | | **Области примене** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | **ОИ** | **ПИ** | **ВН** | **ТТН** | **Л** |
| 33. | 2006 | ИМП Београд | Бања Ковиљ. (03-06.10.) | 162 | 37 | 60 | 23 | 14 | 7 | 5 | 25 |
| 34. | 2007 | ФОН Београд | Златибор (16-19.09.) | 178 | 35 | 51 | 23 | 12 | 17 | 4 | 14 |
| 35. | 2008 | СбФ Београд | Сокобања (14-17.10.) | 168 | 31 | 48 | 14 | 17 | 11 | 6 | 14 |
| 36. | 2009 | МИ САНУ | Ивањица (27-30.09.) | 189 | 43 | 68 | 14 | 29 | 15 | 3 | 25 |
| 37. | 2010 | МО и ВС | Тара (21-24.10.) | 206 | 51 | 100 | 33 | 18 | 7 | 5 | 39 |
| 38. | 2011 | ЕФ Београд | Златибор (04-07.10.) | 197 | 44 | 84 | 21 | 23 | 14 | 2 | 28 |
| 39. | 2012 | ВГГШ Београд | Тара (25-28.09.) | 154 | 40 | 88 | 31 | 9 | 16 | 3 | 21 |
| 40. | 2013 | ФОН Београд | Златибор (08-12.09.) | 193 | 30 | 63 | 10 | 20 | 14 | 4 | 12 |
| 41. | 2014 | СбФ Београд | Дивчибаре (16-19.09.) | 136 | 21 | 37 | 6 | 15 | 15 | 4 | 2 |
| 42. | 2015 | МИ САНУ, МФ Београд | Сребрно јез. (15-18.09.) | 166 | 22 | 41 | 6 | 16 | 10 | 8 | 4 |
| 43. | 2016 | МО и ВС | Тара (20-23.09.) | 135 | 24 | 45 | 8 | 16 | 7 | 11 | 6 |
| 44. | 2017 | ВГГШ Београд | Златибор (25-28.09.) | 146 | 20 | 46 | 4 | 16 | 11 | 8 | 1 |
| 45. | 2018 | ЕФ Београд | Златибор (16-18.09.) | 101 | 16 | 38 | 5 | 11 | 7 | 7 | 2 |
| 46. | 2019 | ФОН Београд | Кладово (15-18.09.) | 132 | 17 | 40 | 5 | 12 | 6 | 9 | 2 |
| 47. | 2020 | СбФ Београд | Београд (20-23.09.) | 82 | 7 | 15 | 2 | 5 | 1 | 5 | 1 |
| 48. | 2021 | МФ Београд, МИ САНУ | Бања Ковиљ. (20-23.09.) | 126 | 13 | 30 | 1 | 12 | 1 | 10 | 2 |
| 49. | 2022 | ЕФ Београд | Врњачка Бања (19-22.09.) | 91 | 15 | 41 | 2 | 13 | 4 | 9 | 2 |

Графички приказ броја радова припадника МО и Војске Србије у односу на укупно објављен број радова у III периоду, дат је на слици 3. На основу овог приказа да се закључити да је у континуираном периоду присутан благи пораст броја радова од стране припадника МО и ВС, што је посебно изражено у времену од 2009. године до 2012. године. Процентуално удео ових радова износи: 2009–22,7%; 2010-24,7% (организатор било Министарство одбране); 2011-22,33% и 2012-25,9%. У периоду од 2012. године до 2017. године долази до стагнације броја радова од стране припадника МО и ВС, а затим од 2018. године пад броја радова припадника МО и ВС до броја седам 2020. године што износи 8,5 % од укупног броја радова те године.



**Слика 3:** Графички приказ броја радова припадника МО и ВС у односу на укупно објављен број радова у III периоду

Графички приказ броја објављених радова од стране аутора из МО и ВС у односу на област истраживања дат је на слици 4. Тако да 55% објављених радова се односи на област основних истраживања док је 45% из области примењених истраживања.

Графички приказ броја објављених радова од стране аутора из МО и ВС у односу на област науке дат је на слици 5. Највише објављених радова је из предмета Логистике – 49%, затим из области Војних наука – 29% и из поља Техничко-технолошких наука – 22%.

**Слика 4:** Припадност радова области

**Слика 5:** Припадност радова области науке

## 5. ЗАКЉУЧАК

Од самог почетка организовања SYM-OP-IS-а, припадници Војске су у континуитету, са изузетком 1992. године, са својим радовима присутни на овом веома значајном научном скупу. Запажено је учешће припадника Министарства одбране и Војске из различитих организационих структура, како из војних високошколских и научноистраживачких установа, тако и из командних и оперативних састава. Операциони истраживачи из редова МО и Војске Србије су својим досадашњим стручним радовима, кроз размену научног и стручног знања, допринели решавању значајних проблема у области војне примене модела и метода операционих истраживања. Ови радови, својим садржајем и актуелношћу непрекидно потврђују да војна примена модела операционих истраживања представља пут рационалног, реалног, вишекритеријумског, компромисног и научно утемељеног прилаза при решавању различитих проблема, пре свега, у доношењу одлука и оптимизације система командовања, организације рада, научноистраживачке делатности, војног образовања, обуке и других сложених функција у Војсци.

Да би операциона истраживања у будућности испунила своју функцију, неопходно је обезбедити довољан број операционих истраживача који ће предано радити на примени операционих истраживања у пракси у миру, ванредним ситуацијама и рату. Не дозволити да се број часова у настави из овог предмета смањује, већ напротив да прати примену информационих технологија.

У области метода примене правци развоја могу бити:

2. Развој нових метода заснованих на примени хеуристике – „меких“ метода.
3. Примену ГИС наставити у области дигиталног приказивања оперативно-тактичке ситуације у простору, али увек као резервну варијанту имати карту – тврди приказ терена.
4. Наставити са применом нових алата, које развијати тежишно самостално користећи домаће знање и искуство или равноправну размену са партнерима из иностранства. Алате примењивати у настави и обуци од појединца преко тима до здружених оперативних и стратегијских команди и јединица.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Петрић, Ј., Развој операционих истраживања у Југославији, прегледни рад, Зборник радова са 20. SYM-OP-IS-а, Београд 1993. године, 19-25.

[2] Вукадиновић, С., 20 година SYM-OP-IS -а и 53 године операционих истраживања у нас, Зборник радова са 20. SYM-OP-IS -а, Београд 1993. године, 13-17.

[3] SYM-OP-IS – 2001, Зборник радова СYМОПИС, секција „Војне примене-А“ и „Војне примене-Б“, Београд 2001. године, 35-133.

[4] SYM-OP-IS – 2010, Зборник радова SYM-OP-IS, секција „Примена операционих истраживања у одбрани“, Тара 2010. године, 549-632.

[5] Мучибабић С, и др., Заступљеност примене операционих истраживања из војске на сумописима, Зборник радова са 40. SYM-OP-IS-а, Београд 2013. године, 396-401.

[6] Мучибабић С, Одлучивање у конфликтним ситуацијама, Генералштаб, Београд, 2003.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПЕДЕСЕТ ГОДИНА ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА У ВАЗДУШНОМ САОБРАЋАЈУ: АЕРОДРОМИ И КОНТРОЛА ЛЕТЕЊА

# FIFTY YEARS OF OPERATIONS RESEARCH IN AIR TRANSPORT AND TRAFFIC: AIRPORTS AND AIR TRAFFIC CONTROL

ФЕЂА НЕТЈАСОВ, ТАТЈАНА КРСТИЋ СИМИЋ
Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, Београд,
f.netjasov@sf.bg.ac.rs, t.krstic@sf.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *У претходних 50 година је на Симпозијуму о операционим истраживањима презентовано решавање великог броја проблема из различитих области саобраћаја применом техника операционих истраживања. Овај рад даје преглед и систематизацију 87 радова из области ваздушног саобраћаја, конкретније аеродрома и контроле летења.*

***Кључне речи:*** *аеродроми, контрола летења, технике операционих истраживања, Sym-Op-Is.*

***Abstract:*** *In the past 50 years, at the Symposium on Operational Research, OR techniques have been presented as solutions to a large number of problems in various fields of transport and traffic. This paper provides an overview of 87 papers in the field of air transport, more specifically, airports and air traffic control.*

***Keywords:*** *Airports, Air Traffic Control, Operations Research (OR) Techniques, Sym-Op-Is.*

---

## 1. УВОД

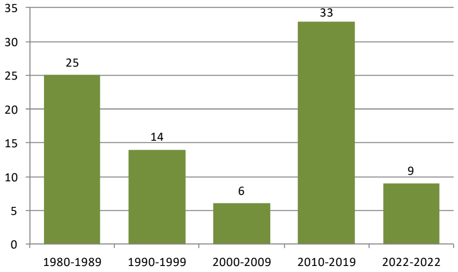
У овом раду представљени су радови из области цивилног ваздушног саобраћаја, са фокусом на проблеме који се односе на аеродроме и контролу летења, саопштени на Симпозијуму о операционим истраживањима у протеклих 50 година. Први радови из ових области су представљени 1980. године у Херцег Новом на VII SYM-OP-IS-у.

## 2. ЗАСТУПЉЕНОСТ РАДОВА ПО ПЕРИОДИМА И АУТОРИМА

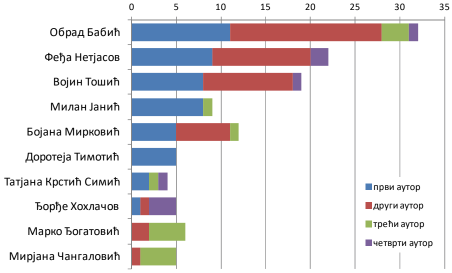
Укупан број радова из области аеродрома и контроле летења, у периоду од 1974. закључно са 2022. годином је 87, при чему је расподела радова по деценијама приказана на слици 1. На слици 2. приказани су аутори са највећим бројем радова.

На укупно 34 конференције саопштавани су радови из поменутих области. Највише радова је саопштено на конференцијама одржаним 1980., 2014. и 2021. године и то по пет радова. Број радова по деценијама је варирао (слика 1). У првој деценији 21. века саопштено је и објављено 33 рада, што је углавном резултат истраживања доктораната и међународних истраживачких пројеката.

Међу најистакнутијим ауторима у овој области били су проф. Обрад Бабић, који је као аутор или коаутор био заступљен у 32 рада и проф. Војин Тошић са 19 радова. Затим следе проф. Феђа Нетјасов са 22 рада (који је свој први рад објавио 2003. године) и проф. Бојана Мирковић са 12 радова (која је свој први рад објавила 2009. године), а који су тренутно наставници на предметима Контрола летења (проф. Нетјасов) и Ваздухопловна пристаништа (проф. Мирковић) на Саобраћајном факултету (слика 2).



**Слика 1:** Број радова по деценијама



**Слика 2:** Аутори/коаутори са највећим бројем радова у овој области

## 3. РАСПОДЕЛА РАДОВА ПО ТЕМАМА И ТЕХНИКАМА

На слици 3 приказане су групе тема из области аеродрома и контроле летења. Тема **Ваздушни саобраћај (опште)** односи се на преглед метода и модела за моделирање безбедности операција на аеродромима, у контроли летења и генерално у ваздушном саобраћају, затим на преглед система за подршку одлучивању у ваздушном саобраћају, и сл.

**Слика 3.** Радови по темама из ове области

Проблеми који се тичу аеродрома подељени су у три категорије (слика 3). **Аеродромске операције** укључују моделирање процеса опслуге авиона на платформама аеродрома; моделирање одвијања саобраћаја на аеродромима са циљем повећања безбедности и трошковне ефикасности, смањења буке и емисије штетних гасова; пројектовање система за подршку вођења саобраћаја; итд. **Планирање аеродромских капацитета** се углавном односи на моделирање капацитета аеродромских подсистема као што су: полетно-слетне стазе и платформе, капацитета складишта горива, потребног броја средстава за утовар и истовар терета из авиона, потребног броја радника за опслугу авиона; одређивање локације аеродрома или излазница са полетно-слетне стазе; и слично. **Планирање аеродромске путничке зграде** обухвата моделирање оптерећења елемената путничке зграде аеродрома, обликовање путничке зграде, вредновање зграде са становишта оријентисаности путника, моделирање додељивања излаза летовима са циљем минимизирања пешачења путника, итд.

Проблеми који се тичу контроле летења такође су подељени у три категорије (слика 3). **Операције у контроли летења** укључују моделирање радног оптерећења контролора летења; затим капацитета терминалног ваздушног простора као и обласних центара контроле летења; моделирање комплексности саобраћаја, ефикасности и безбедности нових концепата операција, и слично. **Управљање токовима саобраћаја** обухвата моделирање оптерећења мреже ваздушних путева; рутирање токова саобраћаја на мрежи ваздушних путева; избор саобраћајног тока; управљање токовима у просторном и временском домену као и на стратешком и тактичком нивоу. **Управљање ваздушним простором** укључује решавање проблема секторизације на дневном ниву; управљања ваздушним простором на стратешком, тактичком и оперативном нивоу са становишта безбедности операција; као и моделирање флексибилне употребе ваздушног простора.

На слици 4 су приказани модели и технике који су коришћени за решавање разматраних проблема у области аеродрома и контроле летења. У појединим радовима је коришћено више техника, али су само основне технике побројане (слика 3). Највише се истичу две категорије: аналитички модели и симулациони модели. **Аналитички модели** (23 рада) су у највећем броју развијани осамдесетих и деведесетих година XX века [1, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 15, 19, 22, 24, 26, 38, 42, 45, 46, 47, 53, 54, 59, 64]. **Симулациони модели** (23 рада) су се показали веома корисним због природе решаваних проблема (динамички, стохастички, дискретни) [2, 7, 8, 16, 20, 35, 37, 40, 43, 44, 49, 55, 56, 63, 69, 71, 73, 76, 78, 82, 83, 84, 85]. **Хеуристике (**10 радова) су развијане за решавање многих проблема код којих је брзина добијања решења веома важна, нпр. управљање саобраћајем у реалном времену, али и за проблеме за које су решења важна на стратешком нивоу [21, 23, 25, 29, 30, 31, 33, 34, 39, 72]. У **математичко моделирање** (7 радова) спадају модели линеарног и целобројног програмирања, као и динамичко програмирање, TOPSIS метода, компромисно програмирање [13, 14, 18, 28, 32, 36, 67]. **Статистичка анализа** (7 радова), обухвата различите методе, технике и алате који су коришћени у истраживањима као што су регресиона анализа, анализа временских серија, кластер анализа, анализа главних компоненти итд. [17, 27, 48, 50, 62, 68, 81]. Посебну категорију чине **каузални модели** (6 радова) као што су стабла отказа, Петри мреже и Бајесове мреже, који су се у другој деценији XXI века показали посебно важним за моделирање безбедности одвијања саобраћаја [51, 60, 65, 75, 77, 80]. **Fuzzy логика** је примењена у три рада [41, 61, 74], **ДЕА метода** у два [57, 79], **Машинско учење** у два [86, 87], **концептуално моделирање** у два [52, 70] а објављена су и два **прегледна рада** [58, 66].

**Слика 4:** Модели и технике у радовима из области аеродрома и контроле летења

Интересантно је видети да је за поједине групе и категорије тема из области аеродрома и контроле летења примењивано више различитих метода и техника моделирања (слика 5).

Евидентно је да су аналитички модели присутни у свим групама тема, док се симулациони модели издвајају код моделирања операција на аеродромима и у контроли летења.

| | Аналитички модели | Симулациони модели | Хеуристике | Математичко програмирње | Статистичка анализа | Узрочни модели | Fuzzy логика | ДЕА метода | Машинско учење | Концептуално моделирање | Прегледни радови |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ваздушни саобраћај (опште) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Аеродромске операције (аеродроми) | 4 | 12 | 2 | 2 | 4 | 3 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Планирање аеродромских капацитета (аеродроми) | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Планирање аеродромске путничке зграде (аеродроми) | 3 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Операције у контроли летења (контрола летења) | 6 | 7 | 0 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 |
| Управљање токовима саобраћаја (контрола летења) | 3 | 0 | 5 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Управљање ваздушним простором (контрола летења) | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| УКУПНО | 23 | 23 | 10 | 7 | 7 | 6 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |

**Слика 5:** Преглед модела и техника коришћених у радовима у специфичним групама тема

## 4. ЗАКЉУЧАК

На основу историјског прегледа радова који су објављени и саопштени на Симпозијумима о операционим истраживањима у периоду од 1980-2022. године може се закључити следеће:

- Најчешће истраживане теме су аеродромске операције (29 радова) и операције у контроли летења (22 рада). Многи од ових радова су проистекли из магистарских теза и докторских дисертација као и међународних научних пројеката.
- За решавање проблема у области аеродрома и контроле летења, највише су коришћени аналитички (23 рада) и симулациони (23 рада) модели.
- Праћене су савремене методе и технике у моделирању различитих проблема у области аеродрома и контроле летења.

**Захвалница**. Ово истраживање је подржано од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије кроз пројекат ТР36033 (2011-2023).

## ЛИТЕРАТУРА

Радови су поређани хронолошки. Сви наведени радови су објављени у Зборнику конференције Sym-Op-Is, за дату годину.

[1] Бабић, О. и Тошић, В. (1980). Модел за одређивање могућности промене нивоа лета на ваздушном путу. 37-49.

[2] Черић, В. и Павлин, С. (1980). Дискретна симулација зрачног дјела аеродрома. 113-121.

[3] Јанић, М. и Тошић, В. (1980). Капацитет полетно слетних стаза у условима процедуралног раздвајања ваздухоплова. 209-221.

[4] Јеласка, М. и Јовановић, Т. (1980). Упоредни приступ анализе пропусне моћи полетно слетне стазе. 233-245.

[5] Тошић, В. (1980). Усклађивање редова вожње у сабирним тачкама транспортног система. 639-649.

[6] Јанић, М. (1981). Методологија за одређивање капацитета складишта горива на аеродрому. скраћена верзија, 45-46.

[7] Јеласка, М. и Јовановић, Т. (1981). Оцена неких параметара вршних оптерећења у систему аеродромског комплекса методом симулације. 49-67.

[8] Тошић, В., Бабић, О. и Јанић, М. (1981). Симулациони модели подсистема путничких терминала на ваздухопловном пристаништу. 353-369.

[9] Јанић, М. и Тошић, В. (1982). Модел капацитета терминалног ваздушног простора. 165-176.

[10] Јанић, М., Јовановић, Т. и Јеласка, М. (1983). Модел капацитета аеродромског система. 163-174.

[11] Јанић, М. (1983). Модел за одређивање капацитета складишта горива на аеродрому. 175-184.

[12] Тошић, В. и Бабић, О. (1983). Квалитативно вредновање путничких терминала са становишта оријентисаности путника. 573-582.

[13] Бабић, О. (1984). Одређивање минималног броја средстава за утовари истовар терета из авиона. 65-72.

[14] Бабић, О. и Јанковић, С. (1984). Одређивање потребног броја претоварних радника за опслугу авиона. 73-82.

[15] Јанић, М. (1984). Капацитет сектора као проблем радног оптерећења контролора летења. 325-336.

[16] Глишић, М. и Тошић, В. (1985). Симулација положаја авиона у завршном прилазу. 167-174.

[17] Черић, В. и Добрић, В. (1985). Мјерење и статистичка анализа улазних података за симулациони модел путничке зграде аеродрома. 191-198.

[18] Бабић, О. (1985). Одређивање оптималног редоследа утовара палета и контејнера у авион. 299-305.

[19] Стојковић, М. и Тошић, В. (1986). Модел за прорачун оптерећења елемената путничких терминала. 537-544.

[20] Черић, В. и Павлин, С. (1986). Обликовање путничке зграде аеродрома кориштењем симулационог моделирања. 553-561.

[21] Бабић, О. и Драгичевић, В. (1986). Одређивање оптималног распореда оптерећења у авиону. 563-568.

[22] Јанић, М. (1987). Модел динамичког рутирања токова ваздухоплова у мрежи ваздушних путева. 313-320.

[23] Хохлачов, Ђ., Тошић, В. и Теодоровић, Д. (1988). Хеуристички алгоритам за одређивање локација летилишта пољопривредне авијације. 329-332.

[24] Јанић, М. (1988). Модел капацитета радарског контролора летања. 333-336.

[25] Тошић, В., Бабић, О. и Урошевић, Д. (1988). Рачунарска подршка вођењу авиона у прилазу аеродрому. 365-368.

[26] Драгичевић, Д., Бабић, О. и Тошић, В. (1990). Модел за оцену оптерећења мреже ваздушних путева. Саопштење, 433.

[27] Драгичевић, Д., Стојковић, М., Бабић, О. и Тошић, В. (1990). Анализа односа планирања ваздушног саобраћаја и реализације. Саопштење, 435.

[28] Бабић, О. и Теодоровић, Д. (1990). Вишекритеријумски приступ решавању проблема регулисања токова у ваздушном саобраћају. 503-505.

[29] Тошић, В. и Бабић, О. (1992). Air Traffic Flow Management modeling Part I – Problem statement, discussion and definition. 219-222.

[30] Бабић, О., Крчмар Ножић, Е., Теодоровић, Д. и Хохлачов, Ђ. (1992). Air Traffic Flow Management modeling Part II – Problem formulation and proposed solution. 223-226.

[31] Бабић, О., Тошић, В., Хохлачов, Ђ. и Должан, Т. (1992). Air Traffic Flow Management modeling Part III – Proposed solution, numerical examples and conclusions.227-230.

[32] Тошић, В., Бабић, О., Чангаловић, М. и Хохлачов, Ђ. (1993). Air Traffic Flow Management Modeling - Problem Formulation and LP-based solution. 335-338.

[33] Тошић, В., Бабић, О., Чангаловић, М. и Хохлачов, Ђ. (1994). Air Traffic Flow Management Modeling - Experiments with models which allow arbitrary delay cost function. 685-688.

[34] Тошић, В., Бабић, О., Чангаловић, М. и Хохлачов, Ђ. (1995). A Model to Solve En Route Air Traffic Flow Management Problem: A Temporal and Spatial Case. 733-736.

[35] Рамадани, А. и Тошић, В. (1995). Симулација саобраћаја на Аеродрому Београд коришћењем модела SIMMOD. Саопштење, 779.

[36] Радосављевић, З. и Бабић, О. (1997). Оптимизација распоређивања ловачких формација по зонама очекивања. 723-726.

[37] Васов, Љ., Бабић, О. и Тошић, В. (1998). Симулациони модел ваздушног саобраћаја. 643-646.

[38] Бабић, О. и Здравковић, С. (1998). Предлог методологије за оцену оптерећења контролора летења. 775-778.

[39] Бабић, О., Васов, Љ. и Чангаловић, М. (1999). Airspace Daily Operational Sectorization. 459-462.

[40] Јовановић М. и Станојевић, М. (2002). Симулациони модел прелета простора надлежности Обласне контроле летења – Београд. XIII-17-XIII-20.

[41] Нетјасов, Ф. (2003). Fuzzy Expert Model for Determination of Runway in Use, Case study: Airport Zurich. 619-622.

[42] Бабић, О. и Нетјасов, Ф. (2006). Modelling of Flow Choice for Air Traffic Control Planning Purposes. 441-444

[43] Цвјетичанин, Б. и Станојевић, М. (2009). Симулација рада сектора обласне контроле летења. 601-604.

[44] Мирковић, Б. (2009). Building the Trust in the Model: RAMS PLUS Case. 655-658.

[45] Нетјасов, Ф. (2009). Conflict Risk Assessment Model for Airspace Strategic Planning. 667-670.

[46] Нетјасов, Ф. (2010). Conflict Risk Assessment Model for Airspace Tactical Planning. 673-676.

[47] Видосављевић, А. (2010). Анализа утицаја локације и типа излазнице на капацитет полетно слетне стазе. 701-704.

[48] Иванов, Н. и Marsh, D. (2010). Case Study: Google Data as Explanatory Variable for Short Term Forecast of Air Traffic. 757-760.

[49] Еленков, М., Андрић, В. и Бабић, О. (2011). Флексибилно коришћење ваздушног простора. 677-680.

[50] Мирковић, Б. (2011). Анализа коришћења елемената аеродрома у односу на различите кориснике. 697-700

[51] Нетјасов, Ф., Видосављевић, А. и Тошић, В. (2011). Safety Analysis of Airborne Collision Avoidance System Operations. 701-704.

[52] Самарџија, Ђ. и Бабић, О. (2012). Систем за подршку контролору летења за смањење емисије угљен диоксида. 277-280.

[53] Лазаревић, М. и Бабић, О. (2012). Модел за доделу паркинг позиција ваздухопловима са циљем минимизације пешачења путника. 561-564.

[54] Нетјасов, Ф. и Бабић, О. (2012). Conflict Risk Assessment Model for Airspace Operational and Current Day Planning. 565-568.

[55] Јовановић, М. и Бабић, О. (2012). Симулациони модел сектора ОБКЛ – Београд за одређивање нивоа оптерећења контролора летења. 589-592.

[56] Марковић, Б., Станојевић, М. и Ђогатовић, М. (2013). Симулација претоварних активности на платформи ваздухопловног пристаништа. 813-817.

[57] Ћујић, М., Јовановић, М., Савић, Г. и Леви Јакшић, М. (2014). Мерење ефикасности система услуга у ваздушној пловидби коришћењем ДЕА методе. 553-557.

[58] Иванов, Н. и Нетјасов, Ф. (2014). Review of Decision Support Systems in Air Transport System. 570-574.

[59] Мирковић, Б. и Тошић, В. (2014). Runway-apron functional relationship. 598-603.

[60] Нетјасов, Ф. и Тошић, В. (2014). Validation of Model of Safety Critical Air Traffic Operations, Case Study: Airborne Collision Avoidance System. 604-609.

[61] Чавка, И., Гајовић, В. и Чокорило, О. (2014). Управљање безбедносним ризицима у ваздушном саобраћају.705-710.

[62] Ганић, Е., Доброта, М. и Бабић, О. (2015). Noise Abatement Measures on Airports: Mutual Dependence. 500-503.

[63] Крстић Симић, Т. и Бабић, О. (2015). Истраживање утицаја начина управљања саобраћајем на мере перформанси обављања саобраћаја на аеродромима. 508-511.

[64] Нетјасов, Ф. (2015). Terminal Airspace Traffic Complexity as a Task-load and Safety Performance Indicator. 528-531.

[65] Цвијетић, С. и Нетјасов, Ф. (2015). Примена функционалне анализе резонанце у истраживању удеса ваздухоплова. 532-536.

[66] Нетјасов, Ф. (2016). An Overview of Safety Thinking and Accident Modeling Approaches in Air Transport. 545-548.

[67] Иванов, Н. и Нетјасов, Ф. (2016). Binary Assignment Optimization - Based Model for Tactical Air Traffic Flow Management Slot Allocation. 553-557.

[68] Мирковић, Б. (2016). Airport apron size and structure: sensitivity to traffic characteristics. 559-562.

[69] Крстић Симић, Т. и Бабић, О. (2016). Утицај мера управљања саобраћајем на аеродрому на трошковну ефикасност летова. 591-594.

[70] Мирковић, Б., Нетјасов, Ф., Крстић Симић, Т. и Бабић, О. (2017). Methodology for safety risk assessment in future air traffic management concept of operations. 729-733.

[71] Нетјасов, Ф. и Црногорац, Д. (2017). Assessment of Safety Performance Indicators of Future Air Traffic Management System. 734-739.

[72] Ганић, Е., Бабић, О., Чангаловић, М. и Станојевић, М. (2017). Air traffic assignment to reduce population noise exposure: An approach incorporating human mobility patterns. 746–751.

[73] Китановић, Д., Ђогатовић, М. и Станојевић, М. (2017). Симулациони модел платформе за De-icing i Anti-icing аеродрома „Никола Тесла“ у Београду. 812–817.

[74] Црногорац, Д. и Нетјасов, Ф. (2018). Fuzzy Model for the Evaluation of Future Air Traffic Management Scenarios Safety Performance Indicators. 398–404.

[75] Тимотић, Д. и Нетјасов, Ф. (2018). Modelling of Runway Excursions with Bayesian Belief Networks. 412 – 418.

[76] Павловић, Г. и Мирковић, Б. (2019). Simulation of Airside Operations at Nis Airport. 687-692.

[77] Тимотић, Д., Нетјасов, Ф. и Ђогатовић, М. (2019). Monte Carlo Simulation of Runway Excursion Bayesian Belief Network Model. 693–698.

[78] Шљукић, С., Ђогатовић, М. и Мирковић, Б. (2019). Симулациони модел за одређивање локације излаза у зависности од времена заузетости полетно-слетне стазе. 705-710

[79] Тимотић, Д., Мирковић, Б. и Савић Г. (2020). The operational efficiency analysis of airports with two-runway system. 404-408.

[80] Секулић, Ј. и Нетјасов, Ф. (2021). Моделирање узрока излетања са полетно-слетних стаза применом анализе стабла отказа. 603-608.

[81] Тимотић, Д., Халај, К., Паскота, М. и Нетјасов, Ф. (2021). Анализа утицајних фактора небезбедних догађаја на аеродромима применом метода мултиваријационе статистичке анализе. 621-626.

[82] Зораја, С. и Нетјасов, Ф. (2021). Концепт операција беспилотних ваздухоплова у урбаним подручјима: Развој и тестирање. 627-632.

[83] Белић, Ј., Мирковић, Б., Ђогатовић, М. и Крстић Симић Т. (2021). Симулациони модел за прорачун емисије штетних гасова на Аеродрому Београд. 635-640.

[84] Павловић, Г., Мирковић, Б. и Ђогатовић, М. (2021). Simulation Modelling of Airside Operations at Nis Airport and Validation by Models Comparison. 647-652.

[85] Serrano-Mira, L., Нетјасов, Ф., Pérez Sanz, L. и Pérez-Castán, J. A. (2022). Aircraft encounter characterization: A scenario-based simulation approach. 563-568.

[86] Лукачевић, Н., Мирковић, Б., Узелац, А. и Кукић, К. (2022). Анализа метеоролошких услова за потенцијални развој аеродрома. 569-574.

[1] Тимотић, Д., Мирковић, Б., Buselli, I., Нетјасов, Ф., Xia, C. и Gallego C. E. V. (2022). Influence of automation changes on go-around operations: A data-driven approach. 575-580.

# АНАЛИЗА ПЕРФОРМАНСИ

# PERFORMANCE ANALYSIS

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ИДЕНТИФИКАЦИЈА КЉУЧНИХ ФАКТОРА ЗА СТИЦАЊЕ КОНКУРЕНТСКЕ ПРЕДНОСТИ КОМПАНИЈА НА ОСНОВУ ЕФИКАСНОСТИ

# IDENTIFICATION OF KEY FACTORS FOR ACHIEVING THE COMPETITIVE ADVANTAGE OF COMPANIES BASED ON EFFICIENCY

ИВОНА ЈОВАНОВИЋ [1], МИЛАН РАДОЈИЧИЋ [2], ДРАГАНА СТОЈАНОВИЋ [3], ДРАГОСЛАВ СЛОВИЋ [4]
[1234] Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд,
ivona.jovanovic@fon.bg.ac.rs, milan.radojicic@fon.bg.ac.rs,
dragana.stojanovic@fon.bg.ac.rs, dragoslav.slovic@fon.bg.ac.rs

***Резиме:*** *Како би одржале своју конкурентску предност, компаније се свакодневно такмиче за вођство на тржишту. Због присутности конкуренције, начин примене мера ефикасности компанија у приватном сектору може да варира. Циљ овог рада је идентификација кључних фактора унапређивања пословних процеса које примењују компаније за стицање конкурентске предности на основу ефикасноти. У истраживању је интегрисан приступ унапређивању процеса и анализу обавијања података. Подаци за истраживање се прикупљени онлине (online) анкетом. Ефикасност компанија је мерена применом модела са варијабилним приносом на обим, базираног на изравнавајућим променљивама и поређени су остварени резултати производних, услужних и производно-услужних компанија. Анализом је утврђено да мишљење испитаника о унапређивању процеса различито утичу на мерење ефикасности компанија. Резултати показују да ефикасне компаније остварују подједнаку или чак и бољу конкурентску предност од мање ефикасних компанија које су већу пажњу придавале одређеним иницијативама унапређивања процеса. На основу резултата, наведене су препоруке за компаније које желе да одрже или унапреде своју конкурентску предност, приказујући праксе успешних компанија.*

***Кључне речи:*** *конкурентска предност, кључни фактори, мерење ефикасности, унапређивање процеса.*

***Abstract:*** *In order to maintain their competitive advantage, companies compete daily for market leadership. Due to the presence of competition, the way of applying the efficiency measures of companies in the private sector can vary. The aim of this paper is to identify the key factors of business processes improvement for achieving competitive advantage of companies based on efficiency. The research integrates a process improvement approach and data envelopment analysis. Data for the research was collected through an online survey. The efficiency of the companies was measured by applying a model with variable returns to volume, based on smoothing variables, and the achieved results of manufacturing, service and manufacturing-service companies were compared. The analysis found that respondents' opinions on process improvement have different effects on the measurement of companies' efficiency. The results show that efficient companies achieve an equal or even better competitive advantage than less efficient companies that paid more attention to certain process improvement initiatives. Based on the results, recommendations are given for companies that want to maintain or improve their competitive advantage, showing the practices of successful companies.*

***Keywords:*** *competitive advantage, key factors, efficiency measurement, process improvement.*

## 1. УВОД

Како би се учврстиле своју конкурентску предност, компаније стално траже начин за побољшање продуктивности и квалитета производа или услуга, уз смањење трошкова [7].

Конкурентска предност представља један од главних покретача за унапређивање пословних процеса [1], што наводи компаније да се фокусирају на различите стратегије конкурентности и размотре шта може довести до успеха унапређивања процеса. Губитак конкурентности због неефикасности менаџмента је забележен у многим великим компанијама [14]. Због тога је осмишљен концепт управљања пословним процесима (енг. *Business Process Management – BPM*) за идентификацију, пројектовање, извршавање, документовање, мерење, праћење, контролу и унапређивање активности у процесима компаније и у складу са тим ефикасно испуњавање пословних циљева. Компаније које су укључене у иницијативе за унапређивање процеса (енг. *Business Process Improvement - BPI*), фокусирају се само на ниво оперативних процеса [15], док би промене на боље захтевале додатну укљученост менаџмента, уз минимизацију временских губитака, и максимизацију укључености свих запослених у активностима смањивања трошкова [2, 16]. Побољшања се могу достићи употребом различитих концепата и алата за подршку побољшању перформанси компаније [23].

Управљање пословним процесима се сматра холистичким приступом организационог менаџмента, где су фундаментални фактори за постизање жељених резултата: разумевање и укљученост највишег менаџмента компаније, јасно дефинисане улоге, технике уклапања, добро обучено особље и култура окренута ка пословним процесима [9]. Према Пион (*Pyon*) и сарадницима [17], обухвата и мапирање процеса, документовање активности, мерење перформанси и оптимизацију процеса, коришћењем најбољих пракси за побољшање конкурентске предности и приступ за промену организационе културе. Према Тркман (*Trkman*) [22], процесни приступ може помоћи у извршењу стратешког програма, омогућавајући побољшану кореспонденцију између стратегије компаније и пословних процеса.

Са друге стране, Чарнес (*Charnes*) и сарадници [3] су давне 1978. године истакли да мере ефикасности компанија у приватном сектору могу да слабе у мери у којој је присутна конкуренција и слобода распоређивања ресурса из једне индустрије у другу, наводећи да процена ефикасности тада треба да укључи различите алтернативе за мерење перформанси. Креирали су први метод анализе обавијања података (енг. *Data Envelopment Analysis – DEA*), која се показала као корисна метода за израчунавање ефикасности јединица за доношење одлука (енг. *Decision-Making Unit – DMU*) [11] и широко је распрострањена као алат за побољшање перформанси ДМУ [3, 13]. Аутори, као што су Шао и Лин [18], анализирају утицај употребе информационих технологија на ефикасност производних процеса у компанијама, у комбинацији са применом ДЕА методе.

Међутим, прегледом расположиве литературе је примећен недостатак истраживања о интеграцији алата унапређивања процеса и анализе обавијања података, као и практичних примена у различим индустријама у којима компаније послују. Због тога, овај рад може дати добре смернице компанијама које желе да побољшају или одрже ниво конкурентности на тржишту. У наредном поглављу је приказана методологија, у трећем поглављу резултати истраживања, док су у четвртом поглављу закључак и идеје за будућа истраживања.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА

Овим истраживањем анализирана је ефикасност компанија применом методе анализе обавијања података (ДЕА). Поређени су остварени резултати производних, услужних и производно-услужних делатности компанија, које су учествовале у активностима унапређивања пословних процеса у циљу оснаживања конкурентске предности. Рад представља наставак претходног истраживања о анализи ефикасности компанија [10]. Спроведена је *online* анкета путем *e-mail*-а и *LinkedIn*-а. Прикупљени су подаци о 82 испитаника, који пружају добру основу за анализу тренда ефикасности компанија које послују у различитим секторима и баве се различитим делатностима. Одређене компаније су искључене из даље анализе бог недовољног залагања испитаника [10]. Истраживање представља део већег истраживања о управљању пословним процесима, лин (енг. *Lean*) трансформацији, конкурентској предности и испуњењу пословних циљева. Ефикасност компанија је мерена применом модела са варијабилним приносом на обим, базираног на изравнавајућим променљивама (енг. *SBM VRS DEA*) [20] системом само-оцењивања. Анкетом су испитаници изразили лични став о пословању компаније, а анкета је спроведена тако да сваки испитаник буде из различите домаће или стране компаније. Због тога, сваки испитаник је анализиран као посебна ДМУ (Слика 1). Улази су формирани на основу тринаест питања о праксама унапређивања процеса у компанијама, модификованим према истраживању [24]. Излази представљају ставове о конкурентској предности компаније, где су испитаници изјавили да ли компанија може да се такмичи са конкуренцијом по цени, квалитету, задовољству клијената и пласманом производа у кратком року. Ове стратегије представљају најважније показатеље конкурентности [4, 12, 21].

**Слика 1:** ДЕА модел за утврђивање ефикасности компанија

Овај рад се ослања на истраживање [10], у коме су идентификовани општи резултати анкете и имплементирана су два *SBM DEA* модела ради утврђивања ефикасности компанија. Подаци о променљивима су такође наведени у истраживању. Као наставак истраживања, испитан је појединачан утицај мишљења испитаника о унапређивању процеса на ефикасност компаније. То би омогућило компанијама да се фокусирају на одређене сегменте свог пословања и тако одрже своју конкурентску предност на тржишту.

## 3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У Табели 1 је приказана ефикасност компанија добијена применом *SBM VRS DEA* модела [10, 20], као и класификација компанија према делатности. Укупан број ефикасних компанија је био 14. Од тога су шест производних (29% од укупног броја производних), шест услужних (50% од укупног броја услужних) и две производно-услужне компаније (33% од укупног броја производно-услужних). Просечна ефикасност производних компанија износи 87%, услужних 85% док је просечна ефикасност производно-услужних компанија 78%.

**Табела 1:** Предложени приступ обухвата *SBM VRS DEA* модел за процену ефикасности

| **Компанија** | **Ефикасност – *SBM VRS DEA*** | **Делатност** | **Компанија** | **Ефикасност – *SBM VRS DEA*** | **Делатност** |
|---|---|---|---|---|---|
| Компанија 1 | 0.873820 | производна | Компанија 21 | 1.000000 | услужна |
| Компанија 2 | 0.857143 | производна | Компанија 22 | 1.000000 | производна |
| Компанија 3 | 0.748552 | производно-услужна | Компанија 23 | 1.000000 | производно-услужна |
| Компанија 4 | 1.000000 | производна | Компанија 24 | 1.000000 | услужна |
| Компанија 5 | 1.000000 | производна | Компанија 25 | 0.940325 | производна |
| Компанија 6 | 0.713365 | производна | Компанија 26 | 0.848552 | услужна |
| Компанија 7 | 0.773125 | услужна | Компанија 27 | 1.000000 | производно-услужна |
| Компанија 8 | 0.794471 | производно-услужна | Компанија 28 | 0.663972 | производна |
| Компанија 9 | 0.889638 | производна | Компанија 29 | 0.495533 | услужна |
| Компанија 10 | 0.814941 | производно-услужна | Компанија 30 | 1.000000 | производна |
| Компанија 11 | 1.000000 | услужна | Компанија 31 | 0.720721 | производна |
| Компанија 12 | 1.000000 | услужна | Компанија 32 | 0.733427 | услужна |
| Компанија 13 | 0.776948 | производна | Компанија 33 | 0.721149 | производна |
| Компанија 14 | 0.701444 | производна | Компанија 34 | 0.839513 | услужна |
| Компанија 15 | 0.533927 | услужна | Компанија 35 | 0.313725 | производно-услужна |
| Компанија 16 | 1.000000 | производна | Компанија 36 | 1.000000 | производна |

| Компанија | Ефикасност – *SBM VRS DEA* | Делатност | Компанија | Ефикасност – *SBM VRS DEA* | Делатност |
|---|---|---|---|---|---|
| Компанија 17 | 0.871898 | производна | Компанија 37 | 0.924444 | производна |
| Компанија 18 | 0.797153 | производна | Компанија 38 | 0.897381 | производна |
| Компанија 19 | 1.000000 | услужна | Компанија 39 | 0.873950 | производна |
| Компанија 20 | 1.000000 | услужна | | | |

Уз помоћ непараметарског Кruskал-Волисовог теста, испитана је једнакост између просечних вредности ефиканости за ове три групе. Резултати су приказани у Табели 2. Није откривена статистички значајна разлика у ефикасности за три анализиране групе делатности ($p$>0.05). Иако су првобитни резултати [10] указивали на то да делатност компаније може бити фактор који утиче на ефиканост, добијени резултати су показали да то није случај.

**Табела 2:** Резултати Крускал-Волисовог теста за три групе делатности

| Делатност | Број компанија | Средња вредност ранга | $\chi^2$ | $p$-вредност |
|---|---|---|---|---|
| производна | 21 | 20.14 | 0.461 | 0.794 |
| услужна | 12 | 21.08 | | |
| производно-услужна | 6 | 17.33 | | |

Наредна анализа која је извршена односи се на испитивање који улази су се показали битнијим за ефикасност компанија. У анализи спроведеној у [10] улази су представљени као два композитна индикатора која су формирана на основу тринаест питања. Табела 3 приказује резулте Спирманових коефицијената корелација између одговора на питања и добијене ефикасности. Смер веза између свих промењљивих и ефикасности је негативан што је у складу са ДЕА методом јер би се за мање улазе при задржаном нивоу излаза ефиканост повећала.

**Табела 3:** Ставови о унапређивању процеса, модификовано према [10, 24]

| | Ставови | Спирман $\rho$ |
|---|---|---|
| 1. | Менаџмент пружа подршку буџетом, активностима, итд. | -0.089 |
| 2. | Менаџмент поштује организационе циљеве, приоритете и стратегије | -0.307 |
| 3. | У могућности смо да идентификујемо препреке унапређивања процеса | -0.040 |
| 4. | У могућности смо да превазиђемо препреке унапређивања процеса | -0.044 |
| 5. | Постављени су краткорочни и дугорочни циљеви унапређивања процеса | -.0323* |
| 6. | Документован је план унапређивања процеса | -0.298 |
| 7. | Треба детаљније разрадити планове унапређивања процеса | -0.004 |
| 8. | Запослени су свесни мисије и визије унапређивања процеса | -.0350* |
| 9. | Остваривање подршке подршке запослених за унапређивање процеса је успешна | -0.273 |
| 10. | Сви запослени разумеју неопходност унапређивања процеса | -0.243 |
| 11. | Сви запослени виде своју улогу у иницијативама унапређивања процеса | -.0398* |
| 12. | Детаљно су објашњене улоге у унапређивању процеса сваком запосленом | -0.278 |
| 13. | На дугорочне циљеве унапређивања процеса се одражавају сопствени циљеви | -.0368* |

* резултат је значајан на нивоу од 0.05

За пет питања се показало да статистички значајно утичу на ефикасност. Јачина везе код свих њих је средњег интензитета [5]. Овакав резултат указује на то да компаније које нису много пажње придавале питањима 5, 8, 11 и 13 и имају ниске вредности одговора за та питања остварују подједнаке или чак и боље излазе од компанија које су већу пажњу придавале тим ставкама.

## 4. ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

Анализа указује да мишљења испитаника о активностима компанија ради унапређивања процеса различито утичу на ефикасност компаније. Резултати истраживања указују да ефикасне компаније могу да остварују подједнаку или чак и бољу конкурентску предност од мање ефикасних компанија које су већу пажњу придавале одређеним *BPI* активностима.

Према Елзинга (*Elzinga*) и сарадницима [6], почетна фаза примене процесног модела обухвата дефинисање визије, мисије и циљева компаније, и одређују се критични фактори успеха. Уриона (*Uriona*) и сарадници [23] су препознали разлику између визије која се преноси од стране менаџмента ка запосленима, и обрнуто, у компанији, што је идентификовано као један од главних узрока неадекватних побољшања. Међутим, на основу резултата се може закључити да ефикасне компаније које мање улажу у активности повећања свесности запослених о мисији и визији унапређивања процеса, остварују подједнаке или чак и боље резултате у постизању конкурентске предности од мање ефикасних компанија које су већу пажњу уложиле у те активности. Слична је ситуација за став о постављању краткорочних и дугорочних циљева унапређивања процеса. Аутори се слажу да је значајан начин на који ће се спроводити циљеви, односно акциони план компаније, и да је само почетно дефинисање циљева недовољно за повећање конкурентности.

Праксе унапређивања процеса указују на важност постизања културе сталног побољшања одоздо према горе у хијерархијској структури, тако да запослени на оперативном нивоу ступају у интеракцију са процесом рада, мењају га, побољшавају и аутоматизују [8]. Резултати истраживања указују да компаније које су улагале мање енергије у то да сви запослени виде своју улогу у *BPI* иницијативама, оствindependently су подједнаку или чак и бољу конкурентску предност од компанија које су поступале супротно. То може да значи да су компаније трошиле енергију и ресурсе да укључе све запослене у иницијативе за унапређивање процеса, док је фокус требао да буде само на запосленима који су директно или индиректно укључени у *BPI* иницијативе. Треба створити културу у компанији која ће стално тежити ка побољшањима, са мањим фокусом на индивидуе које обављају активности у процесу, а више на начин организовања процеса. То показује и став испитаника о томе да се на дугорочне циљеве унапређивања процеса одражавају сопствени циљеви, јер су компаније оствариле подједнаку или чак и бољу конкурентску предност ако су придавале мању пажњу овом ставу о унапређивању процеса.

Резултати истраживања су показали да се применом *SBM VRS DEA* модела, као и класификацијом анализираних компанија према делатности, добија укупно 14 ефикасних компанија: 29% производних, 50% услужних и 33% производно-услужних од укупног броја компанија по делатности. Просечна ефикасност производних компанија износи 87%, услужних 85% док је просесечна ефикасност производно-услужних компанија 78%.

Овим истраживањем су посматрани остварени резултати и утицај на ефикасност за све компаније, док би будуће истраживање обухватало утицај ставова о унапређивању процеса за производни, услужну и производно-услужну делатност појединачно. Проширивањем истраживања би се добила комплетнија слика о варијацијама које доносе различите делатности, јер се и начин остваривања конкурентске предности разликује због учесника на тржишту. Такође, у будућем истраживању процена утицаја екстерних промењљивих на ефикасност може бити испитана применом двоетапног ДЕА модела [19].

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Abbas, S. & Hosein, D. (2010). Application of Analytic Network Process in Selection of Six Sigma Projects. *International Journal of Insutrial & Production Research*, 20(4), 157-164.

[2] Antonucci, Y.L. & Goeke, R.J. (2011). Identification of appropriate responsibilities and positions for business process management success. Business Process Management Journal, 17(1), 127-146.

[3] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.

[4] Chen, C.-H., & Lu, C.-L. (2011). Optimum profit model based on order quantity, product price, and process quality level. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 7886-7893.

[5] Cohen, J. (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 77-83.

[6] Elzinga, D.J., Horak, T., Lee, C. & Bruner, C. (1995). Business process management: survey and methodology. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 42(2), 119-128.

[7] Gilsa, C.V., Lacerda, D.P., Camargo, L.F.R. & Cassel, R.A. (2017). Longitudinal evaluation of efficiency in a petrochemical company. *Benchmarking*, 24(7), 1786-1813.

[8] Haddad, C.R., Uriona Maldonado, M., Forcellini, F.A. & Lezana, A.G.R. (2016). Process improvement for professionalizing non-profit organizations: BPM approach. *Business Process Management Journal*, 22(3), 634-658.

[9] Jeston, J. & Nelis, J. (2006). Business Process Management Practical Guidelines to Successful Implementations, 3rd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford.

[10] Jovanović, I., Radojičić, M. & Savić, G. (2022). naliza efikasnosti kompanije u sticanju konkurentske prednosti primenom *DEA* metode. *XLVIII Simpozijum o operativnim istraživanjima SYM-OP-IS 2022*, 9-14.

[11] Kumar, A., Mukherjee, K. & Adlakha, A. (2015). Dynamic performance assessment of a supply chain process: a case from pharmaceutical supply chain in India. *Business Process Management Journal*, 21(4), 743-770.

[12] Kumar, V., Smart, P.A., Maddern, H. & Maull, R.S. (2008). Alternative perspectives on service quality and customer satisfaction: the role of BPM. *International Journal of Service Industry Management,* 19(2), 176-187.

[13] Lim, S., Bae, H. & Lee, L.H. (2011). A study on the selection of benchmarking paths in dea. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 7665-7673.

[14] Macedo de Morais, R., Kazan, S., Inês Dallavalle de Pádua, S., & Lucirton Costa, A. (2014). An analysis of BPM lifecycles: from a literature review to a framework proposal. *Business Process Management Journal*, 20(3), 412–432.

[15] Neubauer, T. (2009). An empirical study about the status of business process management. *Business Process Management Journal*, 15(2), 166-183.

[16] Palmberg, K. (2010). Experiences of implementing process management: a multiple-case study. *Business Process Management Journal*, 16(1), 93-113.

[17] Pyon, C.U., Woo, J.Y. & Park, S.C. (2011). Service improvement by business process management using customer complaints in financial service industry. *Experts Systems with Applications*, 38(4), 3267-3279.

[18] Shao, B. & Lin, W. (2002). Technical efficiency analysis of information technology investments: a two-stage empirical investigation. *Information and Management*, 39(5), 391-401.

[19] Simar, L. & Wilson, P. W. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, 136(1), 31-64.

[20] Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 130(3), 498-509.

[21] Trihatmoko, R. A., Mulyani, R. & Lukviarman, N. (2018). Product placement strategy in the business market competition: studies of fast moving consumer goods. *Business and Management Horizon*, 6(1), 150-161.

[22] Trkman, P. (2010). The critical success factors of business process management. *International Journal of Information Management*, 30(2), 125-134.

[23] Uriona, M. M., Leusin, M.E., Bernardes, T.C.d.A. & Vaz, C.R. (2020). Similarities and differences between business process management and lean management. *Business Process Management Journal*, 26(7), 1807-1831.

[24] Wolf, C., & Harmon, P. (2012). The State of business process management. Datum pristupa: 13.05.2023. http://www.bptrends.com/bpt/wp-content/surveys/2012-_BPT%20SURVEY-3-12-12-CW-PH.pdf.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ЕВАЛУАЦИЈА ОДРЖИВОСТИ ГРАДОВА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ КРОЗ ПРОЦЕНУ ЕФИКАСНОСТИ

# EVALUATING SUSTAINABILITY OF CITIES IN THE REPUBLIC OF SERBIA THROUGH EFFICIENCY ASSESSMENT

ЖАРКО ПОПОВИЋ[1], ЈЕЛЕНА Ј. СТАНКОВИЋ[2], ИВАНА МАРЈАНОВИЋ[3]
[1] Економски факултет, Универзитет у Нишу, Ниш, zarko.popovic@eknfak.ni.ac.rs
[2]Економски факултет, Универзитет у Нишу, Ниш, jelena.stankovic@eknfak.ni.ac.rs
[3]Економски факултет, Универзитет у Нишу, Ниш, ivana.veselinovic@eknfak.ni.ac.rs

---

***Резиме:*** *Градови се могу сматрати сложеним системима вођеним материјалним и енергетским токовима, који обухватају потрошњу ресурса и стварање отпада у потрази за економским благостањем и друштвеним напретком. Да би се постигла урбана одрживост, неопходно је интегрисати еколошке, друштвене и економске индикаторе у процесе урбаног планирања. Имајући у виду наведено, овај рад има за циљ да процени ефикасност и одрживост градова у Републици Србији применом приступа „Benefit of the Doubt“. Истраживање се фокусира на пет кључних индикатора: просечне зараде, стопе запослености, број дипломираних студената, очекивано трајање живота и запремина отпадних вода. Овај приступ олакшава идентификацију неодрживих градова узимајући у обзир индикаторе сва три стуба одрживости. Резултати истраживања показују да мање од 20% градова у Србији постиже адекватан ниво одрживог развоја. Ови резултати пружају вредан увид у релативну ефикасност и одрживост градова у Републици Србији. Идентификујући предности и области за побољшање у сваком граду, креатори политике, урбанисти и заинтересоване стране могу донети информисане одлуке и осмислити адекватне стратегије усмерене ка остварењу урбане одрживости.*

***Кључне речи:*** *урбана одрживост, одрживи развој, анализа ефикасности, композитни индекси.*

***Abstract:*** *Cities can be recognized as intricate systems propelled by material and energy flows, necessitating the consumption of resources and generation of waste materials to foster economic prosperity and societal advancement. To realize urban sustainability, the integration of environmental, social, and economic indicators into urban planning processes becomes imperative. Bearing in mind the above, this paper aims to evaluate the efficiency and sustainability of cities in the Republic of Serbia by applying the "Benefit of the Doubt" approach. The research focuses on five key indicators: average wages, employment rates, number of graduates, life expectancy and volume of waste water. This approach facilitates the identification of unsustainable cities by taking into account the indicators of all three pillars of sustainability. The research results show that less than 20% of cities in Serbia achieve an adequate level of sustainable development. These results provide a valuable insight into the relative efficiency and sustainability of cities in the Republic of Serbia. By identifying strengths and areas for improve mentin each city, policy makers, urban planners and stakeholders can make informed decisions and devise adequate strategies directed towards achieving urban sustainability.*

***Key words:****urban sustainability, sustainable development, efficiency analysis, composite indices.*

---

## 1. УВОД

Почев од педесетих година прошлог века дошло је до убрзаног пораста урбаних подручја при чему се према пројекцијама очекује да ће број урбаних становника порасти за 30% до 2050. године (Beloin-Saint-Pierreetal., 2016). Градови представљају сложене системи који се могу сматрати живим организмима вођеним материјалним и енергетским токовима, при чему врше различите урбане функције усмерене на обезбеђење адекватног квалитета живота за све грађане, што подразумева обезбеђење адекватних образовних и здравствених установа, објеката културе, владавине права и могућности запошљавања (Gonzalez-Garcia et al., 2018). Са друге стране, евидентан је негативан допринос градова погоршању бројних еколошких перформанси урбаних подручја (Goldsteinet al., 2013), што указује на потребу темељног анализирања интеракција између различитих димензија одрживости. Имајући наведено у виду, праћење одрживости урбаних подручја постаје императив.

Светска комисија за животну средину и развој (World Commission on Environment and Development, 1987) предложила је свеобухватну дефиницију одрживог развоја по којој је одрживи развој „развој који задовољава потребе садашњих генерација без угрожавања способности будућих генерација да задовоље сопствене потребе“. Концепт одрживог развоја обухвата три аспекта: економски, друштвени и еколошки, при чему постоји интеракција и преклапање између ових димензија. Конкретно, *Tanguay* и сарадници (2010) наводе да развој мора бити правичан (интеракција између економске и друштвене димензије), адекватан за живот (прилагођавање животне средине друштвеним потребама, што се може односити на концепт квалитета живота) и одржив (економски развој мора бити заснован на постојећим капацитетима екосистема, при чему се исцрпљивање необновљивих ресурса мора избећи). Када је реч о урбаној одрживости, могуће је дефинисати циљеве одрживости у граду кроз смањење коришћења природних ресурса и производње отпада уз истовремено побољшање квалитета живота, како би се град боље уклопио у локалне, регионалне и глобалне капацитете екосистема (Newman,1999).Одрживост града се односи на способност града или урбаног подручја да задовољи потребе свог садашњег становништва без угрожавања способности будућих генерација да задовоље своје потребе. То укључује стварање градова погодних за живот, економски отпорних и еколошки одговорних који промовишу економски просперитет, друштвено благостање и заштиту животне средине.Укључујући еколошке, друштвене и економске аспекте у урбано планирање, градови могу креирати политике усмерене ка одрживом развоју. Ово подразумева промовисање ефикасног коришћења ресурса, минимизирање еколошких утицаја и подстицање друштвеног благостања унутар урбаног подручја.

Међутим, на путу ка остварењу одрживости, градови су суочени са бројним изазовима, при чему је један од њих адекватан начин квантификације достигнутог степена одрживости ради евалуације постојећих стратегија одрживости, али и ради поређења са другим урбаним подручјима, у циљу идентификовања најбољих пракси. Стога је циљ овог рада израда композитног индекса одрживости градова на примеру 21 града у Републици Србији, коришћењем методологије базиране на анализи обавијања података.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА И ПОДАЦИ

Последњих година дошло је до интензивирања напора за побољшање мерења одрживог развоја, при чему се све већи број индикатора одрживог развоја користи за праћење напретка ка остварењу одрживости. Ови индикатори често обухватају различите димензије одрживости. Међутим, када се процењује укупни учинак, корисно је агрегирати појединачне индикаторе одрживог развоја у композитни индекс (Shwartzet al., 2009). Композитни индекс пружа информације о томе у којој су мери креатори политика створили адекватне услове и осмислили процесе како би осигурали квалитетан живот за све становнике широм посматране области (Lafuenteet al., 2022). Доносиоци одлука и научна заједница могу да користе композитне индексе за упоређивање учинка у различитим областима, а креатори политике могу да користе композитне индексе за креирање адекватних развојних политика (Mahdiloo et al., 2023). Приликом оцењивања одрживости одређеног подручја неопходно је узети у обзир индикаторе везане за све три димензије одрживости. Постојећа литература као индикаторе животне средине најчешће идентификује индикаторе који обухватају аспекте као што су потрошња енергије, управљање отпадом, квалитет ваздуха и очување биодиверзитета.

Под друштвеним индикаторима обухватају се фактори као што су приступ образовању, здравственој заштити, приступачном становању и социјалној инклузији, док економски показатељи углавном обухватају економски раст, стопе запослености, и расподелу прихода. Интегрисање ових индикатора у процесе урбаног планирања омогућава идентификацију потенцијалних компромиса и синергије између еколошке, друштвене и економске димензије одрживости. Креирање композитног индекса који обухвата све три димензије одрживости на нивоу градова омогућава креаторима политика да усвоје стратегије које балансирају конкурентске интересе и оптимизују алокацију ресурса са циљем остварења одрживог развоја.

Развијен је велики број приступа за креирање композитних индекса. *Nardo* и сарадници (2005) у свом прегледу метода за конструисање композитних индекса као један од приступа разматрају приступ „*benefit-of-the-doubt*“. *Cherchye* и сарадници (2007) наводе да је концептуална основа приступа „*benefit-of-the-doubt*“ у томе да релативни учинак јединице одлучивања на скупу индикатора представља откривену преференцију те јединице о релативној важности индикатора. Конкретно, приступ „*benefit-of-the-doubt*“ препознаје ове откривене преференције додељивањем већих тежина оним индикаторима на којима јединица одлучивања има бољи учинак, а нижих тежина индикаторима на којима јединица има гори учинак, односно, тежине се додељују на начин да се оптимизује композитни индекс (Shwartzet al., 2009). Приступ „*benefit-of-the-doubt*“ представљаједан од облика анализе обавијања података развијене од стране аутора *Charnes*, *Cooper* и *Rhodes* (Charneset al., 1978). Анализа обавијања података се примењује за мерење ефикасности организационих јединица, где је ефикасност представљена односом пондерисане суме различитих излаза и пондерисане суме различитих улаза уз ограничење да мера ефикасности није већа од 1 за било коју јединицу која се разматра (Montalbán-Domingo et al., 2022). Примењено на израчунавање композитних индекса одрживости градова, излази представљају индикаторе одрживог развоја, а улаз за сваки град је „лажна (*dummy*) варијабла“ која узима вредност 1.

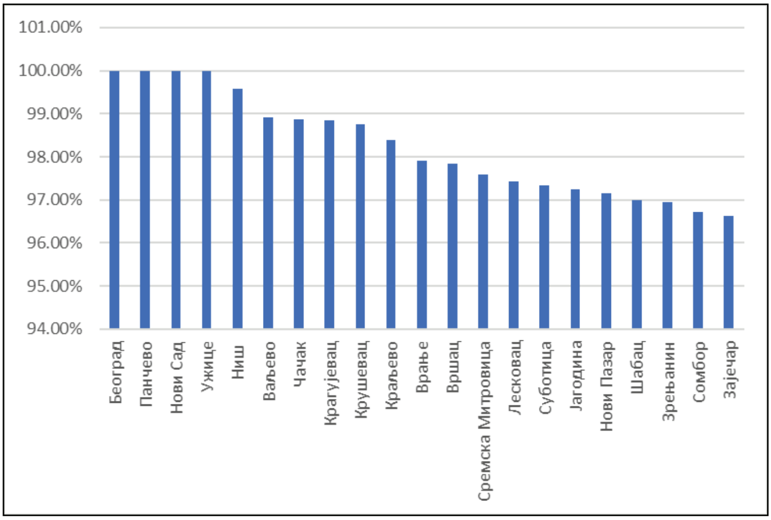
Приликом креирања модела за спровођење анализе одрживости градова у Републици Србији изабрано је пет индикатора одрживог развоја (Табела 1). Избор индикатора извршен је у складу са прегледом релевантне литературе из ове области на начин да одабрани индикатори репрезентују одговарајуће димензије одрживости. Конкретно, економска димензија одрживости представљена је путем просечних зарада и стопа запослености, друштвена димензија одрживости путем броја дипломираних студената и очекиваног трајања живота, док је еколошка димензија одрживости представљена индикатором запремина отпадних вода. Анализа је спроведена на узорку који чини 21 град у Републици Србији. Наведени узорак је изабран узимајући у обзир доступност података, при чему је анализирана последња година за коју су били доступни подаци (2021 година).

**Табела 1:**Опис индикатора укључених у модел

| **Индикатор** | **Дефиниција** | **Извор** |
|---|---|---|
| Просечне зараде | Годишње просечне зараде без пореза и доприноса, по запосленом | Општине и региони у Републици Србији, 2022 |
| Стопа запослености | Број запослених  на 1000 становника | Општине и региони у Републици Србији, 2022 |
| Број дипломираних студената | Број дипломираних студената на високим школама, академијама и факултетима | Општине и региони у Републици Србији, 2022 |
| Очекивано трајање живота | Просечно очекивано трајање живота живорођене деце 2019-2021. | Општине и региони у Републици Србији, 2022 |
| Запремина отпадних вода | Укупне испуштене отпадне воде по становнику | Општине и региони у Републици Србији, 2022 |

## 3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА

Креирање композитних индекса одрживости градова у Републици Србији извршено је применом *EMS* софтвера. Резултати истраживања приказани су на Слици 1 и указују на то да је од посматраних градова адекватан ниво одрживости остварен само у Београду, Новом Сади, Панчеву и Ужицу, односно, да више од 80% анализираних градова није постигло задовољавајући ниво урбане одрживости. Поред тога, као пример најбоље праксе идентификован је Нови Сад, будући да представља *benchmark* за 17 градова. Као највећи извори неефикасности градова у Републици Србији идентификоване су просечне годишње зараде и стопа запослености, будући да резултати анализе код свих неефикасних градова указују на могућности за побољшање у овим индикаторима.



**Слика 1:** Композитни индекс одрживости градова у Републици Србији

Хетерогеност у конфигурацији конкурентске ефикасности међу градовима у Републици Србији је у складу са чињеницом да је Република Србија суочена се неуједначеним регионалним развојем, при чему се јасно може идентификовати доминација великих градских центара у НСТЈ 1 јединици Србија-Север. Добијени резултати сугеришу да би се приступ креирања ситуационо-прилагођене политике засноване на информацијама генерисаним предложеним „*benefit-of-the-doubt*“ моделом могу допринети побољшању ефикасности, а самим тим и побољшању урбане одрживости градова у Републици Србији.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Савремена литература јасно наглашава важност израчунавања композитних индекса ради обезбеђења оптималног дизајна политика усмерених на повећање одрживости територија. Композитни индекси представљају један од веома корисних алата за анализирање политика будући да омогућавају поређење између различитих јединица уз истовремено узимање у обзир више развојних аспеката. Посебно се наглашава важност коришћења композитних индекса у студијама одрживости, имајући у виду да је у питању вишедимензионални проблем где поређење јединица по основу појединачних индикатора не даје адекватне информације неопходне за оцену тренутних и креирање будућих политика усмерених ка остварењу одрживог развоја. Стога је основни циљ овог рада био да укаже на важност адекватног квантификовања достигнутог нивоа урбане одрживости, као и предлагање модела за оцену урбане одрживости заснованог на „*benefit-of-the-doubt*“ приступу.Укључивање индикатора одрживости у урбано планирање подстиче дугорочну отпорност, побољшава квалитет живота становника и доприноси општем благостању града. Доношење одлука на основу композитних индекса подстиче примену политика, прописа и иницијатива које су у складу са циљевима одрживог развоја, подстичу правичан раст и ублажавају деградацију животне средине. Другим речима, анализа композитних индекса представља потенцијално одлучујући извор информација за оптимално креирање развојних политика усмерених ка остварењу одрживог развоја. Препознавањем међузависности и интеракције између еколошких, друштвених и економских фактора, градови могу утрти пут ка одрживијој будућности. Будућа истраживања у овој области могу бити усмерена ка анализирању више периода како би се идентификовао тренд кретања одрживости урбаних подручја у Републици Србији.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Beloin-Saint-Pierre, D., Rugani, B., Lasvaux, S., Mailhac, A., Popovici, E., Sibiude, G., & Schiopu, N. (2017). A review of urban metabolism studies to identify key methodological choices for future harmonization and implementation. Journal of Cleaner Production, 163, S223-S240.

[2] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European journal of operational research, 2(6), 429-444.

[3] Cherchye, L., Moesen, W., Rogge, N., & Puyenbroeck, T. V. (2007). Anintroduction to ‘benefit of the doubt’composite indicators. Social indicators research, 82, 111-145.

[4] Goldstein, B., Birkved, M., Quitzau, M. B., & Hauschild, M. (2013). Quantification of urban metabolism through coupling with the life cycle assessment framework: concept development and case study. Environmental Research Letters, 8(3), 035024.

[5] Gonzalez-Garcia, S., Manteiga, R., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2018). Assessing the sustainability of Spanish cities considering environmental and socio-economic indicators. Journal of Cleaner Production, 178, 599-610.

[6] Lafuente, E., Araya, M., & Leiva, J. C. (2022). Assessment of local competitiveness: A composite indicator analysis of Costa Rican counties using the ‘Benefit of the Doubt’model. Socio-Economic Planning Sciences, 81, 100864.

[7] Mahdiloo, M., Andargoli, A. E., Toloo, M., Harvie, C., & Duong, T. T. (2023). Measuring the digital divide: A modified benefit-of-the-doubt approach. Knowledge-Based Systems, 261, 110191.

[8] Montalbán-Domingo, L., García-Segura, T., Sanz-Benlloch, A., Pellicer, E., Torres-Machi, C., & Molenaar, K. (2022). Assessing social performance of construction companies in public-works procurement: Data envelopment analysis based on the benefit of the doubt approach. Environmental Impact Assessment Review, 96, 106844.

[9] Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., & Tarantola, S. (2005). Tools for composite indicators building. European Comission, Ispra, 15(1), 19-20.

[10] Newman, P. W. (1999). Sustainability and cities: extending the metabolism model. Landscapeand urban planning, 44(4), 219-226.

[11] Општине и региони у Републици Србији (2022) преузето са: https://www.stat.gov.rs/sr-cyrl/publikacije/publication/?p=14944

[12] Shwartz, M., Burgess, J. F., & Berlowitz, D. (2009). Benefit-of-the-doubt approaches for calculating a composite measure of quality. Health Services and Outcomes Research Methodology, 9, 234-251.

[13] Tanguay, G. A., Rajaonson, J., Lefebvre, J. F., &Lanoie, P. (2010). Measuring the sustainability of cities: Ananalysis of the use of local indicators. Ecological indicators, 10(2), 407-418.

[14] World Commission on Environment and Development (1987). From One Earth to One World: an Overview. Oxford: Oxford University Press.

# ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКА АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИЈА

# MULTICRITERIA ANALYSIS AND OPTIMIZATION

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# APPLICATION OF THE DIBR-GREY EDAS MODEL OF MULTICRITERIA DECISION-MAKING TO THE SELECTION OF A COMBAT UNMANNED GROUND PLATFORM FOR THE NEEDS OF THE ARMY

MARKO RADOVANOVIĆ[1], DARKO BOŽANIĆ[2], ALEKSANDAR PETROVSKI[3], ALEKSANDAR MILIĆ[4]

[1] Military Academy, University of Defence, Belgrade, markoradovanovicgdb@yahoo.com
[2] Military Academy, University of Defence, Belgrade, dbozanic@yahoo.com
[3]Military Academy “General Mihailo Apostolski” Skopje, University “Goce Delchev” Shtip,
North Macedonia, aleksopetrovski@gmail.com
[4] Military Academy, University of Defence, Belgrade, milickm5@gmail.com

***Abstract:*** *The paper presents a hybrid model of choosing a combat unmanned ground platform using the Defining Interrelationships Between Ranked criteria (DIBR) and grey - Evaluation based on Distance from Average Solution (G-EDAS) method. This model has been tested and confirmed on a case study in which combat unmanned platforms for the needs of the military were optimized. The criteria were defined, and then the DIBR method was used to determine the severity of the criteria. The ranking and selection of the most favorable alternative (combat unmanned ground platform) was carried out using the G-EDAS method. The proposed model has proven to be stable and is a reliable tool for the decision maker when choosing.*

***Keywords:*** *Defining Interrelationships Between Ranked criteria (DIBR), Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS), grey number, unmanned ground platform, MCDM.*

# ГЕОИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМИ
# GEOINFORMATION SYSTEMS

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ
50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПОТЕНЦИЈАЛ ПРИМЕНЕ МЕТОДА ДАЉИНСКЕ ДЕТЕКЦИЈЕ И ГИС-А У АРХЕОЛОШКИМ ИСТРАЖИВАЊИМА

# POTENTIAL APPLICATION OF REMOTE SENSING AND GIS IN ARCHAEOLOGICAL RESEARCH

АЛЕКСАНДАР СТАМЕНКОВИЋ[1], РАДОЈЕ БАНКОВИЋ[2], ЗЛАТАН МИЛОЊИЋ[3], ЂОРЂЕ ПЕТРОВИЋ[4]
[1] Републички завод за заштиту споменика културе, Београд, aleksandar.stamenkovic@heritage.gov.rs
[2] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, radojebankovic@yahoo.com
[3] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, zlatan.milonjic@gmail.com
[4] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, djordje.petrovic@vs.rs

---

***Резиме:*** *У раду ће бити речи о потенцијалу примене даљинских метода детекције и географских информационих система (ГИС) приликом археолошких истраживања као и методолошком приступу и могућностима које нам они пружају. Прикупљени подаци потичу са простора западног Срема због богате археологије на овом простору али и због погодних карактеристика терена за примену различитих метода даљинске детекције. Основна хипотеза је да ће даљинска детекција у случају Срема допринети низу нових података који би значајно променили и унапредили археолошку слику овог краја што ће отворити питања попут потенцијала даљинске детекције, и њених појединачних метода, у археологији.*

***Кључне речи:*** *Даљинска детекција, ГИС, археологија.*

***Abstract:*** *The paper will discuss the potential of remote detection methods and geographic information systems (GIS) during archaeological research, as well as the methodological approach and opportunities they provide. The collected data comes from the area of western Srem due to the rich archeology in this area, but also due to the suitable characteristics of the terrain for the application of various remote sensing methods. The basic hypothesis is that remote sensing in the case of Srem would contribute to a series of new data that would significantly change and improve the archaeological image of this region, which will open questions such as the potential of remote detection and its individual methods in archaeology.*

***Keywords:*** *Remote sensing, GIS, Archaeology.*

---

## 1. УВОД

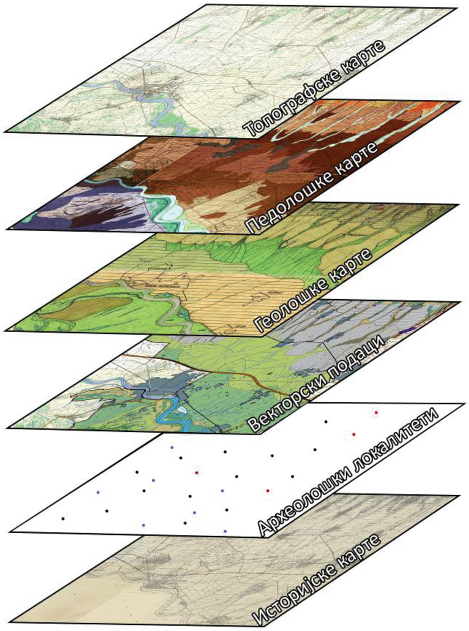
Примена даљинске детекције и ГИС у археологији у Србији је на самом почетку. До сада се ова врста истраживања углавном сводила на анализу појединачних локација без изучавања и тумачења ширег контекста, па је свакако важно показати потенцијал ових метода и резултате њихове систематске примене на једној територији. Спровођење ових истраживања има за идеју и да укаже на значај даљинске детекције. Опште очекивани резултати истраживања су јаснија слика и боље разумевање археологије западног Срема на основу методолошког приступа, који до сада није примењен на овом простору. Препознавање нових археолошких локалитета, преиспитивање познатих, картирање нових података би унапредило тренутне интерпретације овог простора.

Територија западног Срема заузима површину од приближно 2000 km$^2$. Границе ове области дефинисане су на основу природних формација од гребена Фрушке горе на северу до реке Саве на југу. Западну границу дефинише река Босут, док је на истоку граница Велики поток, каналисани дренажни водени ток до улива у Саву. Разлог за одабир ове области је богата археологија на овом простору, али и карактеристика самог терена (топографија, покривеност вегетацијом, коришћење земљишта, итд.), што је веома погодно за примену различитих метода даљинске детекције, као што су аерофотограметрија, LiDAR, сателитски снимци и друге. Такође, иако археолошки богат и релативно добро истражен простор, Срем никада није био предмет систематских истраживања даљинске детекције.

## 2. МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП

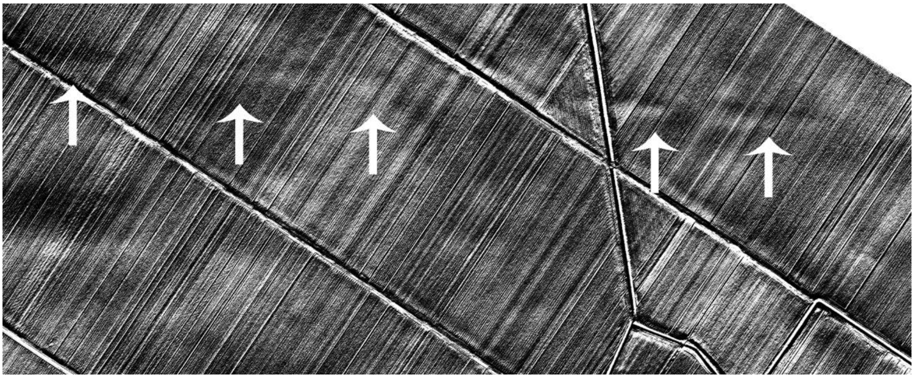
У првој фази истраживања, у циљу сагледавања археолошке карте западног Срема и тумачења пејзажа овог простора, било је неопходно прикупити, обрадити, прилагодити и интерпретирати податаке са претходних археолошких истраживања, историјских карата, као и просторне податке, тј. информације о локалном рељефу, карактеристике тла, хидролошку слику, мреже путева и друго [1].

Након прикупљања података из прве фазе, урађена је ГИС интеграција и креирање базе података (Слика 1) која ће бити основ за даља истраживања и интеграцију нових података добијених у будућем процесу истраживања. Потенцијал овако прикупљених података може да укаже на разумевање односа између животне средине и археолошких локалитета, као и разумевање односа самих локалитета [2].



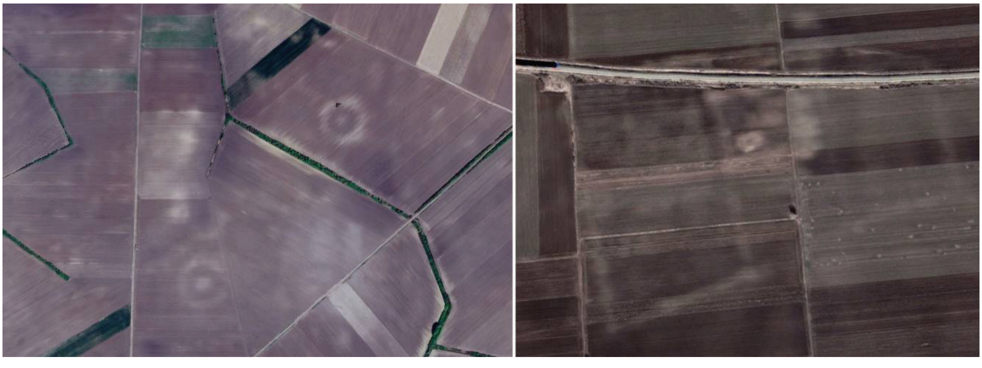
**Слика 1:** Прва фаза - Интегрисани ГИС слојеви

Друга фаза истраживања односи се на прикупљање и "читање" података добијених методама даљинске детекције. Једна од метода која нам може пружити драгоцене податке је ласерско снимање терена из ваздуха LiDAR технологијом. LiDAR подаци се, у овом случају, користе за креирање детаљних дигиталних модела терена (ДМТ), без вегетације и тражења различитих антропогених структура, које се касније могу испоставити, као археолошке или историјске. За тумачење података добијених овим путем коришћене су различите технике и методе визуализације [3]. Поред основних алата које пружа ГИС, ту су и програми посебно направљени за напреднију визуализацију дигиталних елевационих модела (*LiVT – LiDAR Visualisation Toolbox, RVT – Relief Visualisation Toolkit*) који су нам омогућили дефинисање једва видљивих структура [4]. Подаци добијени LiDAR скенирањем, нажалост, нису доступни за целу територију Србије. За потребе наших истраживања користили смо податке из пројекта Војногеографског института - "Генерал Стеван Бошковић" - "Обнова последица поплава - израда мапа угрожености и мапа ризика плавних подручја на територији Републике Србије". Овим пројектом је покривено скоро 50% територије западног Срема, што је било довољно да схватимо археолошки потенцијал ове методе на овом простору. На приложеној илустрацији (Слика 2) дат је, као пример, детаљ једне од уочених аномалија за коју се претпоставило да је реч о комуникацији (римском путу). Рекогносцирањем терена потврђена је теорија.



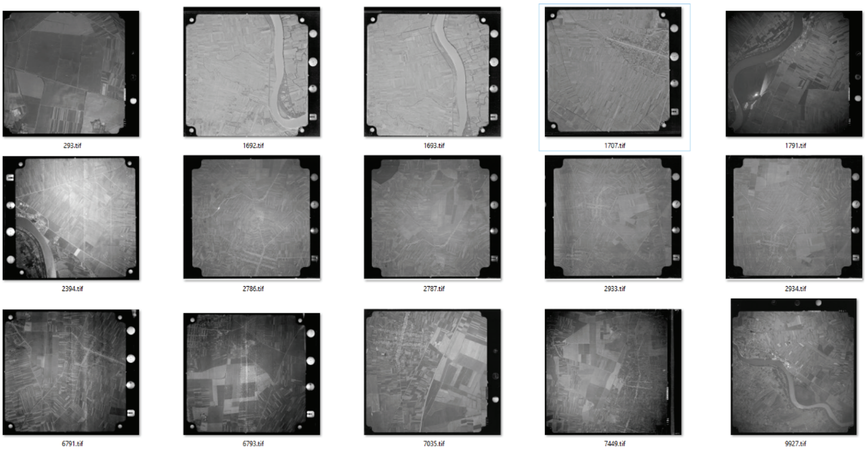
**Слика 2:** Трагови римског пута примећени анализом података добијених LiDAR скенирањем. Дигитални модел терена (*local relief model* визуализација). (Извор: *Обрада аутора*)

Следећа важна група података су сателитски снимци (мулти и хиперспектрални) [5]. У овом случају се користе неке опште познате платформе као што су Google Earth или Bing maps, али и колекције сателитских снимака, као што су Sentinel 2, IKONOS и друге. Коришћење мултиспектралних података омогућава откривање карактеристика које нам нису видљиве на редовним аерофотограметријским снимцима и могу имати велики потенцијал за археолошка истраживања.



**Слика 3:** Трагови различитих антропогених структура на сателитским снимцима. (Извор: *Google Earth Pro, обрада аутора*)

Прегледом историјских аерофотограметријских снимака може се доћи до драгоцених података. После Другог светског рата, Војногеографски институт - "Генерал Стефан Бошковић" урадио је неколико систематских снимања Срема и направио богату архиву аерофотограметријских снимака за израду топографских карата. Као резултат тога, постоје сетови аерофотограметријских снимака из 1954, 1966, 1967. године, као и сетови аерофотограметријских снимака снимљених током осамдесетих и деведесетих година двадесетог века. То значи, више од хиљаду вертикалних аерофотограметријских снимака, геореференцираних у ГИС-у, чији би преглед, картирање и интерпретација била од великог значаја, јер је већина њих старија од многих великих инфраструктуралних радова, који су променили пејзаж западног Срема (Слика 4). Такође, коришћење ових аерофотограметријских снимака омогућиће сагледавање подручја са познатим археолошким локалитетима, која су данас уништена модерном градњом и ширењем савремених насеља, путева и слично.



**Слика 4:** Серија аерофотограметријских снимака старијих од многих великих инфраструктуралних радова. (Извор: *Војногеографски институт - "Генерал Стеван Бошковић"*)

Рекогносцирање из вадуха је још једна од метода даљинске детекције, који се могу користити за археолошка истраживања [6]. Овај метод се може користити за прикупљање података о данашњем пејзажу и потенцијалним остацима археолошких структура (познатих и нових). Сви остали подаци добијени даљинском детекцијом представљају вертикалне погледе, међутим, посматрање терена из потпуно другачијих углова могуће је управо захваљујући рекогносцирању из ваздуха. На овај начин могуће је снимити карактеристике које иначе нису видљиве на вертикалним аерофотограметријским снимцима, или се не могу уочити на аерофотограметријским снимцима снимљеним са већих висина. Овакав начин снимања показао се као ефикасан у снимању и откривању археолошких локалитета. Он укључује археологе који управљају пилотом авиона, врше аерофотограметријско снимање археолошких локација и пејзажа и сагледавају одабрана подручја из различитих углова. Једна од главних карактеристика овог приступа је уочавање разлика у висини и боји усева (Слика 5). С обзиром да је количина влаге коју биљка добија кључна за њен раст, подземни остаци или трагови коришћења одређеног простора, утичу на висину и боју усева. Резултати на овим аерофотограметријским снимцима су видљиви, као тзв. cropmarks, soilmarks, shadowmarks и earthworks. У сваком случају, ова метода се никада није користила на овом простору. За ефикасно планирање летова, потребно је консултовати се са неколико web платформи са сателитским снимцима, које прате стање поља, вегетацијске и индексе влаге, као и зоне са различитим стопама продуктивности. Примена таквих "пољопривредних" web платформи у археологији је прилично нова метода, која помаже ефикасној логистици и помаже приликом интерпретације података.

**Слика 5:** Уочавање разлике у боји усева (Извор: *Обрада аутора*)

Подаци прикупљени у овој фази се морају адекватно обрадити, интерпретирати и интегрисати у ГИС базу података заједно са подацима из фазе један.

## 3. ПОТЕНЦИЈАЛ МЕТОДА ДАЉИНСКЕ ДЕТЕКЦИЈЕ

Након наведених фаза следи закључна фаза, која подразумева различите ГИС анализе и визуализације засноване на бази података из фазе један и два. Саме анализе и интерпретација података зависе од хипотеза и истраживачких питања.

Примера ради, у нашем случају основна хипотеза је да ли даљинска детекција у случају западног Срема може допринети низу нових података који би значајно променили и унапредили археолошку слику овог краја. То подразумева откривање нових археолошких локалитета, повезаност локалитета са њиховим природним окружењем, обрасце насељавања и друго. То нас доводи до отварања истраживачких питања о потенцијалу даљинске детекције и њених појединачних метода у археологији. Такође, отварају се питања о најповољнијим условима за ефикасну примену ових метода, адекватном ишчитавању уочених феномена и интерпретацији уочених структура. Истовремено, нова открића би додатно допринела овладавању методама даљинске детекције у западном Срему и њиховом усавршавању уопште.

## 4. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је кроз методолошки приступ у неколико примера приказан потенцијал примене различитих метода даљинске детекције у археологији чиме су отворена питања за даља истраживања. Опште очекивање резултата истраживања је јаснија слика и боље разумевање археологије западног Срема на основу методолошког приступа који до сада није примењен на овом простору.

Препознавање нових археолошких локалитета, преиспитавање познатих, картирање нових података добијених даљинском детекцијом ће унапредити тренутне интерпретације овог простора и формирати једно ново посматрање. Осим научног доприноса, подаци прикупљени на овај начин могу се користити за развој процене ризика, управљање и очување културног наслеђа.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Мишић С. (2000). Хидрографија српских земаља на старим географским - картама, Гласник Историјског архива Ваљева 34, 41-52.

[2] Wheatley D., Gillings M. (2002). Spatial Technology and Archaeology. The archaeological application of GIS, Taylor & Francis.

[3] Doneus M., Briese C. (2006). Full-wave form airborne laser scanning as a tool for archaeological reconnaissance, From Space to Place. Proceedings of the 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology, BAR International Series 1568, Oxford, 99–106.

[4] Kokalj Ž., Hesse A., Mulahusić A. (2018). Vizuelizacija rasterskih podataka laserskog skeniranja iz zraka, Ljubljana.

[5] Parcak S. H. (2009). Satellite Remote Sensing for Archaeology, London: Routledge.

[6] Musson C., Palmer R., Campana S. (2013). Flights Into the Past: Aerial Photography, Photo Interpretation and Mapping for Archaeology, Propylaeum.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# УБЛАЖАВАЊА ДИСКОНТИНУИТЕТА ПОЛИГОНА ПРИ ГЕОПРОСТОРНОЈ АНАЛИЗИ ИЗБОРНИХ РЕЗУЛТАТА У НОВОМ САДУ

# MITIGATION OF POLYGON DISCONTINUITY IN GEOSPATIAL ANALYSIS OF ELECTION RESULTS IN NOVI SAD

БОЈАН РАДОЈЕВИЋ[1], МИНУЧЕР МЕСАРОШ[1]

[1] Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 3, info@dgt.uns.ac.rs

---

***Резиме:*** *Изборна географија подразумева геопросторне аспекте изборних процеса, укључујући изборни систем и бирачке јединице. Анализа просторних изборних података и демографских и социоекономских карактеристика пружа увиде у преференције бирача и доприноси бољем разумевању политичких процеса. Дисконтинуитет подручја бирачких места представља проблем који захтева адекватно решење. За превазилажење дисконтинуитета подручја бирачких места постоји плуралност и иновативост метода, а предлажу се модели генерализације, анализа просторних релација и употреба ГИС софтвера. Истраживања имају практичну примену и захтевају успостављање консензуса и легистлативних решења.*

***Кључне речи:*** *Дисконтинуитет полигона, бирачка места, избори, изборна географија, геопросторни подаци, ГИС, Нови Сад.*

***Abstract:*** *Electoral geography encompasses the spatial aspects of electoral processes, including the electoral system and units. The analysis of spatial electoral data and demographic and socioeconomic characteristics provides insights into voter preferences and contributes to a better understanding of political processes. The discontinuity of electoral precincts poses a problem that requires appropriate solutions. Overcoming the discontinuity of electoral precincts involves methodological pluralism and innovation, with suggested models of generalization, spatial analysis, and GIS software. Research in this field has practical applications and necessitates the establishment of consensus and legislative solutions.*

***Keywords:*** *Polygon discontinuity, electoral precincts, elections, electoral geography, geospatial data, GIS, Novi Sad.*

---

## 1. УВОД

Картограф има способност да адаптира садржај својих карата тако, да направи корисну и информативну карту која преноси просторне информације. У тој адаптацији битно је постићи баланс између циља карте и прецизних детаља објеката који се мапирају. Добро генерализоване карте су оне које истичу најважније елементе карте, истовремено представљајући свет на најтачнији и најпрепознатљивији начин. То није увек једноставно, а некада није ни изводљиво. Република Србија има пропорционални изборни систем на три нивоа, а подручја бирачких места представљају најдетаљнији ниво за анализу просторних изборних података. Бројни аутори су се бавили проблемима картографске генерализације за ГИС софтвере. Питања картографске генерализације обухватају много отворених проблема, али има и доста простора за њихово решавање. Дисконтинуитет подручја бирачких места један је од таквих проблема и он захтева адекватан приступ, ублажавање и будуће успостављање општег консензуса и легистлативних решења.

## 2. ИЗБОРНА ГЕОГРАФИЈА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ И НОВОМ САДУ

Изборна географија је дисциплина која се бави проучавањем геопросторних аспеката изборних процеса. Она се фокусира на анализу геопросторних фактора и утицаја који обликују изборне резултате и политичке обрасце. Специфичности изборне географије укључују изборни систем, бирачке јединице, регионалне разлике и етничке факторе [1].

Република Србија има изборе на три територијална нивоа: републичком, покрајинском и локалном. Сваки од њих има специфичне особености, а анализа изборне географије укључује проучавање заступљености политичких актера на свим географским нивоима [2]. Кроз анализирање и проучавање геопросторне дистрибуције изборних података у Србији могу се добити увиди у политичке обрасце, преференције бирача и факторе који обликују политичку сцену земље, а имају своју просторну одредницу [2, 3, 4, 5, 6].

Србија има пропорционални, делимично асиметрични, изборни систем са три избора нивоа, који укључују републички, покрајински и локални ниво [3]. Осим тога, у градским заједницама са више општина постоје и избори за градске скупштине. Град Нови Сад нема више формално дефинисаних општина, те функционише као једна градска општина, а избори се спроводе на територији града, као једној изборној јединици која има 207 дефинисаних бирачких места [5].

Општинска или градска управа доставља локалној изборној комисији образложени предлог за одређивање бирачких места најкасније седам дана од дана кад је одлука о расписивању избора ступила на снагу. Осим тачне локације места где ће се вршити гласање одлука о одређивању бирачких места садржи и подручја са којег бирачи гласају на бирачком месту (улица, кућни број, село, заселак, насеље и сл.). Бирачко место, може да обухвати део насељеног места, једно насељено место или више насељених места, одређује се за гласање највише 2.500, а најмање 100 бирача [6].

У Новом Саду су подручја бирачких места некада била груписана у просторно континуиране и јасно дефинисане локалне изборне јединице, јер је тада у употреби био већински изборни систем за избор одборника за локалну скупштину [5]. Са укидањем локалног већинског изборног система, повећањем броја становника и одређивањем нових бирачких места, одустало се од просторног континуитета.

## 3. ГЕОПРОСТОРНА АНАЛИЗА ИЗБОРНИХ РЕЗУЛТАТА

Изборни подаци су корисни за анализу важних политичких и друштвених процеса у контексту демократизације политичког система, а историја изборних резултати се може искористити да би се боље разумели механизми иза ових процеса на микро нивоу [7].

ГИС оријентисано картирање изборног нивоа подршке политичким актерима омогућава детаљну анализу изборне географије и динамике у географским обрасцима гласања. Коришћење ГИС технологије омогућава креирање карата које интегришу податке о гласању са демографским и социоекономским подацима, чиме се добија холистички увид у изборне резултате. Овај приступ омогућава политичким странкама и кандидатима да боље разумеју подршку бирача на локалном нивоу и да прилагоде своје кампање и поруке. Такође, развој модела за предвиђање локалних образаца подршке бирача коришћењем геопросторних података пружа додатне увиде у преференције бирача и помаже у доношењу стратегијских одлука. Важно је дефинисати одговарајући модел података и структуру података, како би се обезбедила квалитетна и тачна анализа изборних резултата [1].

Изборни подаци са просторно-временском димензијом пружају драгоцен извор информација за различите научнике друштвених наука, укључујући политикологе, историчаре, економисте и демографе. Ова интердисциплинарност између више научних поља постаје све важнија у друштвеним наукама, а коришћење просторних података омогућава дубље разумевање друштвених промена. Ово поље је у константном расту, посебно захваљујући доступности обимних јавних података. Ови подаци су посебно корисни за истраживаче који проучавају узроке и предуслове који доводе до појаве нових политичких странака, као и за анализу политичких и друштвених последица које они доносе. Такође, ови подаци могу се искористити за проверу и потврду легалности избора, као и за спречавање изборних малверзација [7].

Коришћење разнолике палете ГИС алата у комбинацији са изборним подацима омогућава дубље разумевање политичких процеса и истовремено пружа практичне примене у доношењу одлука. У данашњем планирању избора, владе се суочавају са изазовом прилагођавања променама технолошких достигнућа, изборних преференција и захтева. У том контексту, ГИС технологија омогућава владама да буду испред ових фактора. Фокусирање на локацију пре, током и после избора значајно унапређује искуство бирача, а веб карте и мобилне апликације олакшавају бирачима учешће у изборном процесу. Модерне изборне институције препознају важност ГИС технологије у ефикасној обради изборних припрема и спровођењу избора. Коришћење ГИС алата омогућава активности које се одвијају током самог изборног дана, а такође повећава ангажовање и образовање бирача. Поред тога, пружање корисничких апликација за приказ резултата избора представља додатну вредност модерних изборних институција [1].

Итересантно је да је окружење паметних градова, са својом напредном инфраструктуром, отворило могућности за повезивање инфраструктурних података са изборним резултатима. Ова демократизација пружа могућност анализе и комбиновања геопросторних података како би се боље разумели изборни резултати. Кроз геопросторно-временско моделовање и примену информационо-комуникационих технологија, геопросторних и сензорских технологија, технолошка инфраструктура паметних градова омогућава међусобно повезивање, сарадњу и размену знања. Готово све нове технологије у паметним градовима имају геопросторну компоненту. Прикупљање значајне количине података путем паметне инфраструктуре, посебно сензора, омогућава оптимизацију паметних услуга и побољшање конкурентности [8]. Анализа ових података може пружити корисне увиде у изборне резултате и помоћи у бољем разумевању фактора који утичу на политичке процесе.

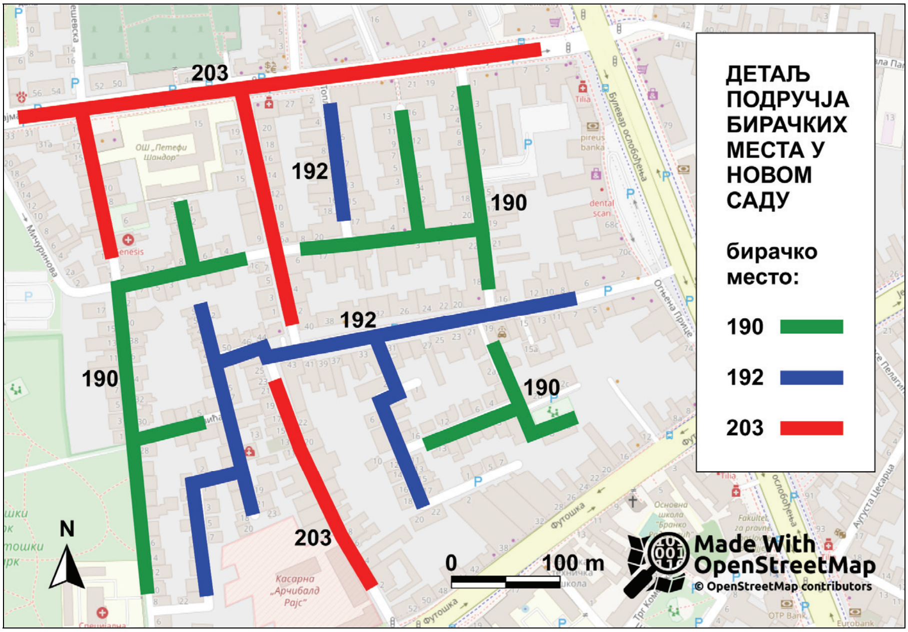
Резултати добијени анализом демографских и социоекономских карактеристика становништва, према месту становања на подручјима бирачких места, могли би се користити за дубље квалитативно разумевање прилично сложених појава. Такође, новодобијене вредности, моделовања и визуелизацијом могу бити кључна подршка системима за подршку просторном одлучивању [1].

## 4. УБЛАЖАВАЊЕ ДИСКОНТИНУИТЕТА ПОЛИГОНА ПОДРУЧЈА БИРАЧКИХ МЕСТА У НОВОМ САДУ

Град Нови Сад као једна изборна јединица подељен је на 207 бирачких места. Подручја бирачких места су одређена према адресама, а најчешће су формирана груписањем целих или делова појединих улица [5].

Укидањем локалног већинског изборног система и формирањем нових подручја бирачких места због повећања броја становника дошло је до преклапања подручја бирачких места. Настао је територијални дисконтинуитет који је онемогућио директну просторну анализу изборних резултата на микро-нивоу бирачких места. Један потенцијални приступ за решавање овог проблема може бити анализирање изборних резултата на нивоу традиционалних бирачких јединица, односно груписање бирачких места до нивоа просторног континуитета. Идеја је да се истражи, како се границе подручја бирачких места могу трансформисати, како би се смањила неконтинуираност, односно како би се осигурало да су границе бирачких јединица разумне и праведне. На Слици 1 приказан је део подручја бирачких места у Новом Саду са нагласком на детаљ на коме се лако уочава просторни дисконтинуитет и немогућност повезивања делова подручја бирачких места.

Просторни дисконтинуитет бирачких места и немогућност повезивања делова подручја бирачких места представљају изазов у коришћењу изборних просторних података. Међутим, овај проблем се може решити применом модела генерализације. Генерализација је процес којим се смањује сложеност геопросторних података уз задржавање њихове суштине и релевантности. У контексту избора, стварање модела генерализације омогућава да се просторно фрагментирана подручја бирачких места повежу на смислен начин. Овај модел се заснива на методама анализе просторних релација и оптимизације, које омогућавају да се подаци о бирачким местима преобликују тако да се обезбеди континуитет и целовитост изборних подручја [9].



**Слика 1:** Детаљ подручја просторног дисконтинуитета бирачких места у Новом Саду

Када се примени на геопросторне податке, моделовање вишеструке регресије може помоћи у разумевању просторне варијабилности и утицаја различитих фактора на променљиве од интереса. На пример, може се користити за предвиђање вредности неког атрибута на основу других просторних променљивих, као што су удаљеност од одређених објеката или социоекономски фактори [1].

Чен и Чен [10] уводе технику генерализације засновану на закривљености полигонске графике. Својство закривљености графике се користи за откривање критичних тачака облика. Коришћењем критичних тачака, затворени полигон се може сегментирати на неколико глатких сегмената криве и може се додатно поједноставити. Предложени метод користи изобличење облика, као ограничење за контролу нивоа поједностављења и чува потребне тачке података интеграцијом. Поређења између Даглас-Појкер алгоритма и предложеног метода показују да резултат технике генерализације засноване на закривљености има мање изобличења облика када је резултујући број тачака скоро једнак. Дакле, предложени приступ не само да задржава облик полигона, већ и ефикасно смањује број тачака [10].

Једно од решења за превазилажење проблема дисконтинуитета пребацивања је употреба просторних покретача. Ови покретачи омогућавају аутоматско пребацивање између варијација геофенсинга, колажирања карата и других фактора који могу ублажити дисконтинуитет. Кроз употребу просторних покретача, могуће је ефикасно интегрисати различите аспекте и факторе, како би се обезбедила континуираност и кохерентност просторних података. Ово решење омогућава успостављање непрекидног тока података и смањење прекида у анализи и обради просторних информација [11].

ГИС софтвери често имају скуп алата за генерализацију растерских и векторских скупова података, који могу да поједноставе изградњу и здруживање полигона у границама генерализације. Не постоји универзална процедура за решавање проблема генерализације. Процес зависи од вештине и праксе аутора, али и од конкретних ситуација које се морају решити. Алати за генерализацију укључени у ГИС софтвере могу убрзати процес генерализације, а могу се постићи и добри резултати [9].

Белеј и Фигурска [12] у свом истраживању наглашавају важност методолошке плуралности и примене иновативних метода попут Воронојевих дијаграма у просторним анализама, и сматрају да такве анализе омогућавају прецизније разумевање просторних феномена и доношење релевантних одлука у различитим областима деловања. Основна иновација њиховог истраживања била је визуализација просторне дисконтинуираности која омогућава идентификацију подручја високе активности и специфичних вредности. Ове методе су избегле претерану генерализацију и добиле реалистичан приказ хетерогености стварности. Међутим, примена Воронојевих дијаграма може представљати изазов за кориснике навикнуте на интерполационе методе и носи одређене потешкоће, као што су дискретне вредности и брзе промене на ивицама ћелија [12].

Руиз-Лендинез [13] предлаже ефикасну методологију за упаривање геопросторних информација засновану на хомологним врховима. Кључна карактеристика тог приступа је способност решавања проблема који су карактеристични за традиционалне процене положаја заснованог на тачкама, а који су повезани са употребом ограниченог броја тачака уз што већи број високо прецизних тачака [13].

Изборни резултати су од велике важности, али се односе на целокупну изборну јединицу у пропорционалном изборном систему, без обзира да ли је то град, општина или република. Са друге стране, ниво бирачких места пружа веома прецизне и детаљне геопросторне информације. Коришћење овако детаљног нивоа просторне дезагрегације омогућава нам да анализирамо, моделирамо и визуализујемо резултате гласања, као и да истражујемо односе између примарне гласачке подршке политичким актерима и демографских и социоекономских карактеристика. Такође, можемо да стекнемо нове увиде у обрасце гласања на вишим нивоима избора и факторе који могу објаснити варијације у гласачкој подршци политичким актерима на локалном нивоу. Ова анализа нам помаже да боље разумемо политичку динамику у различитим локалним срединама [1].

## 5. ЗАКЉУЧАК И БУДУЋА ИСТРАЖИВАЊА

Изборна географија проучава геопросторне аспекте изборних процеса, укључујући изборни систем и бирачке јединице. Анализа геопросторне дистрибуције изборних података пружа увиде у политичке обрасце, преференције бирача и факторе који обликују политичку сцену државе. Република Србија има пропорционални изборни систем на три нивоа: републичком, покрајинском и локалном. Од просторног континуитета подручја бирачких места у Новом Саду се одустало са променама у изборном систему и формирањем нових бирачких места.

Изборни подаци пружају драгоцене информације о политичким процесима, а подаци са подручја бирачких места омогућавају анализу на микро нивоу. Коришћење ГИС технологије за картирање подршке политичким актерима омогућава дубље разумевање изборне географије и пружа практичне примене у доношењу одлука. Ови подаци су корисни за истраживање политичких последица и спречавање изборних малверзација. ГИС технологија је важна у модерним изборним институцијама и омогућава боље ангажовање бирача. Повезивање инфраструктурних података са изборним резултатима у оквиру паметних градова пружа додатне увиде. Анализа демографских и социоекономских карактеристика становништва на подручјима бирачких места доприноси бољем разумевању политичких процеса и подршци просторном одлучивању.

За проблем дисконтинуитета подручја бирачких места у граду Новом Саду, као изборној јединици, предлаже се коришћење модела генерализације и анализе просторних релација. Такође се помиње употреба просторних покретача и ГИС софтвера за генерализацију просторних података. Истиче се важност методолошке плуралности и иновативних метода као што су Воронојеви дијаграми у просторним анализама. Наведене су и неке специфичне методе попут упаривања геопросторних елемената и моделовања вишеструке регресије.

Истраживања и усаглашавања на пољу генерализације и видова превазилажења просторног дисконтинуитета подручја бирачких места у Србији имају знатну практичну примену, те постоји простор за рад на успостављању консензуса и легистлативних решења.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Stimson, R. J., Chhetri, P., & Shyy, T. K. (2017). GIS-Enabled Mapping of Electoral Landscape of Support for Political Parties in Australia. In Comprehensive Geographic Information Systems (Vol. 3). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09666-4

[2] Закон о територијалној организацији Републике Србије, Службени гласник Републике Србије, број: 129/2007, 18/2016, 47/2018 и 9/2020 - др. закон.

[3] Закон о избору народних посланика, Службени гласник Републике Србије, број: 14/2022.

[4] Закон о локалној самоуправи, Службени гласник Републике Србије, број: 129/2007, 83/2014 - др. закон, 101/2016 - др. закон, 47/2018 и 111/2021 - др. закон.

[5] Одлука о одређивању бирачких места на територији Града Новог Сада, за гласање на изборима за народне посланике Народне скупштине, расписаним за 3. април 2022. године, Градска изборна комисија Града Новог Сада, број: 020-8/2022-69-I.

[6] Упутство о начину одређивања бирачких места, Службени гласник Републике Србије, број: 19/2022 и 24/2022.

[7] Vall-Prat, P. (2021). Dataset of Historical Elections in Catalonia (DHEC): Micro-level Historical Results (1890–1923). Data in Brief, 36, 107017. https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107017

[8] Radojević, B., Lazić, L., Cimbaljević, M. (2020). Rescaling smart destinations: The growing importance of smart geospatial services during and after COVID-19 pandemic, Geographica Pannonica, 24 (3), 221–228, https://doi.org/10.5937/gp24-28009

[9] Droppová, V. (2011). The tools of automated generalization and building generalization in an ArcGIS environment. Slovak Journal of Civil Engineering, 19(1), 1–7. https://doi.org/10.2478/v10189-011-0001-4

[10] Chen, C. F., & Chen, M. H. (2005). Generalization of GIS polygon data using curvature-based approach. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 5(1), 3498–3501. https://doi.org/10.1109/IGARSS.2005.1526599

[11] Si, R., Arikawa, M., & Shibasaki, R. (2017). Minimizing discontinuity in switching heterogeneous maps for mobile use. International Journal of Cartography, 3(1), 102–120. https://doi.org/10.1080/23729333.2017.1304186

[12] Belej, M., & Figurska, M. (2020). 3D modeling of discontinuity in the spatial distribution of apartment prices using Voronoi diagrams. Remote Sensing, 12(2). https://doi.org/10.3390/rs12020229

[13] Ruiz-Lendínez, J., Ureña-Cámara, M., & Ariza-López, F. (2017). A Polygon and Point-Based Approach to Matching Geospatial Features. ISPRS International Journal of Geo-Information, 6(12), 399. https://doi.org/10.3390/IJGI6120399

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ИЗРАДЕ ЕКОЛОШКЕ КАРТЕ ДЕВАСТАЦИЈЕ

# BASIC PRINCIPLES OF CREATING AN ECOLOGICAL MAP OF DEVASATION

БОРИС ВАКАЊАЦ[1], САША БАКРАЧ[2], МИРЈАНА БАРТУЛА[3], ИВАН ПОТИЋ[4], МИОДРАГ КОСТИЋ[5]

[1] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, boris.vakanjac@vs.rs
[2] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, sasa.bakrac@vs.rs
[3] Универзитет Метрополитен, Факултет за примењену екологију Футура, mirjana.bartula@futura.edu.rs
[4] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, ivan.potic@vs.rs
[5] Министарство одбране, Управа за инфраструктуру, miodrag.kostic@vs.rs

***Резиме:*** *Животна средина одувек трпи притиске. Некада су то били природни, као што су земљотреси, еманације вулкана, поплаве и други, а од индустријске револуције до данас антропогене који се временом интезивирају. Притисци узроковани антропогеним активностима су разноврсни. Од хемијског загађења ваздуха, воде и земљишта, па до климатских промена узрокованих еманацијом гасова „стаклене баште“, излова и уништењем живог света у океанима, девастацијом земљишта употребом фертилизатора и пестицида и много тога другог. Са временом се развио појам екологије и заштите животне средине. Постоје разне теорије и разматрања везана за животну средину, производњу хране, броја људи на планети Земљи, количину потребне воде у различитим екосистемима и сл. Чињенице су да се број људи на планети Земљи повећава и да се количина доступних природних ресурса смањује. Постоји пуно књига и радова који обрађују поменуту проблематику. Како се ситуација мења, у суштини животна средина се све више девастира, а такође, препознаје се све више објеката у животној средини које треба сачувати (појаве геодиверзитета, биодиверзитета, земљишта, семена биљака, ...). Поменуто је потребно приказати на карти која је генерисана из базе података. Таква карта би се временом ажурирала и пратила еколошке појаве од интереса на неком простору.*

***Кључне речи:*** *екологија, девастација, деградирани простор, агенс.*

***Abstract:*** *The environment is always under pressure. In the past, these were natural, such as earthquakes, volcanic emanations, floods, and others, and from the industrial revolution to today, they are anthropogenic, which are intensifying over time. The pressures caused by anthropogenic activities are diverse. From chemical pollution of air, water and soil, to climate change caused by the emanation of "greenhouse" gases, overfishing and destruction of the living world in the oceans, the devastation of the soil by the use of fertilizers and pesticides and much more. Over time, the concept of ecology and environmental protection has developed. There are various theories and considerations related to the environment, food production, the number of people on planet Earth, the amount of water needed in different ecosystems, etc. The facts are that the number of people on planet Earth is increasing and the amount of available natural resources is decreasing. There are many books and papers dealing with the mentioned issue. As the situation changes, basically the environment is being more and more devastated, and more and more objects in the environment that need to be preserved are also being recognized (phenomena of geodiversity, biodiversity, soil, plant seeds...). The mentioned needs to be displayed on the map generated from the database. Such maps would be updated over time and monitor the ecological phenomena of interest in an area.*

***Key words***: *ecology, devastation, degraded area, agent*

## 1. УВОД

Карта је визуелни приказ неке или неких појава на одређеном простору планете Земље или других свемирских објеката нпр. Месеца и Марса. Данас су ти прикази углавном дводимензионални (на папиру или монитору), ређе тродимензионални, а у новије време могу бити и холограмски, чак са посебним технолошким помагалима којима се може добити утисак кретања кроз картирани простор или опсервација тог простора са неке виртуелне дистанце. Ово је јако широко научно поље, названо углавном као „картографија“. У овом раду ће се дати основни принципи израде „еколошке карте“ у смислу крајњег дводимезионалног производа који се може одштампати на папиру или приказати на монитору и на крају у таквом виду проучавати у кабинету или носити на терен.

Постоје разне дефиниције екологије у литератури (и интернету). Навођење тих дефиниција би узело пуно простора и о њима се може дискутовати са различитих аспеката. Приликом размишљања, о овом раду схватили смо да екологија у ствари проучава односе између живог (бактерије, инсекти, сисари...) и онога што се у науци сматра не живог света (минерали, планете, звезде...), па би на овом месту дали следећу дефиницију, која вероватно није потпуна, али задовољава намере онога што желимо да прикажемо касније: „Екологија је мулдисциплинарна наука која проучава интеракције живих бића са својим живим и не живим окружењем у коме егзистирају током свог живота“, а њихови остаци после њиховог живота остају и доприносе променама у животној средини. Овде се појављује и појам антропогеног фактора који од индустријске револуције има све већи, а данас је можда, поред геолошких ендогених природних процеса, један од најснажнијих на планети Земљи (рударство, пољопривреда, производња енергије, загађење, отпад...). Сматрамо да овде треба да дамо неке од старијих дефиниција и кратак приказ развоја екологије.

Немачки зоолог Ернст Хекел је 1866. године смислио термин „екологија“. Ово је урадио да би описао, како је он сматрао – „економију“ живих бића. Теоријска пракса екологије се углавном састоји од изградње модела интеракције живих система са њиховом околином (укључујући друге живе системе) [1].

Екологија је у суштини нова наука и сматра се важном граном биолошке науке, која је постала истакнута тек у другој половини XX века [2]. Еколошка мисао је дериват устаљених токова у филозофији, посебно из етике и политике [3]. Ови ставови су дискутабилни, јер не узимају у обзир тзв. неживу природу и процесе који се у овој области дешавају као што су стварање и распадање минерала, земљотреси, вулканизам, и много тога другог.

У литератури се спомињу Аристотел и Теофраст (IV век п.н.е.), и објашњења односа живих бића и њиховог окружења итд. [4].

Међутим, тек негде 70-тих година 20-ог века свет озбиљно почиње да се бави еколошким проблемима. UNESCO је 1971. године, покренуо истраживачки програм под називом „Човек и биосфера“, са циљем повећања знања о међусобном односу човека и природе. Неколико година касније дефинисан је концепт резервата биосфере.

Од тада до данас екологија се као наука све више развија и открива се све више различитих веза између живих бића и средине у којој живе.

Ми људи смо постали током времена посебан проблем за друга жива бића која са нама живе на планети Земљи. Загађујемо животну средину гасовима стаклене баште, отпадом, у океанима смо створили острва од бачене пластике, са рудничких јаловишта потенцијално опасни метали (тешки метали) се шире ваздухом и водом на десетине, па и стотине километара од свог извора, до сада је било званичних 2121 проба нуклеарног оружија [5] где су фрагменти радиоактвног материјала субмикронских величина однешени у атмосферу и стратосферу и глобалним кретањем ветрова остају и флуктуишу и много тога другог. Ипак покушавамо да нешто спасемо и сачувамо.

## 2. ЕКОЛОШКА КАРТА ДЕВАСТАЦИЈЕ

Основне карте које се користе и од којих је „све почело“ су топографске и географске карте. Данас је топографски и географски картирана цела планета Земља, па и поменута свемирска тела. Скоро да на Земљи не постоји простор где није крочио човек.

О поменутој „топографско-географској картографској“ методологији и проблематици постоји бројна научно-стручна литература, а сама методологија се врло брзо мења и развија (компјутеризација, сателитски снимци, ЛИДАР снимања и друго).

Како је екологија у научном смислу све шира и комплекснија, а карактеристике еколошких ентитета се мењају у реалном простору и времену, еколошке појаве је потребно приказати картама. Не сматрамо наше виђење методологије израде „Еколошке карте девастације простора“ апсолутним и даћемо га у појednостављеној и скраћеној верзији. При изради еколошких карата неког простора подразумева се коришћење ГИС технологија и база података.

**Топографска основа** – може бити са називима или без, користи се топографска карта нпр. Војногеографског института или слободног извора као што су нпр. из апликације SASPlanet: Open Street Map Open Topo Map ili ESRI_Topo_Maps. Поред ове две прилично добра подлога је и Landscape w/o names (Google) која на жалост више није доступна. Јако је ефектно у ГИС-у поставити лејер са одређеним процентом провидности преко топографске основе на једној или више карата (ако пратимо промену појаве од интереса током времена) [6]. Код карата размере 1:100.000 апсолутна тачност нпр. неког загађења је од мањег значаја за разлику од карата крупније размере нпр. 1:25.000, где се могу приказати токови загађивача током времена на више карата, од којих свака представља одређени временски период.

**База података** – у свом најједноставнијем облику претпоставља фолдере са растерским, векторским, табеларним, текстуалним и другим подацима. Подаци су тако организовани да се могу употребити у неком од ГИС програма. У бази се налазе локације од интереса, објекти који девастирају животну средину или које из неког разлога треба чувати (различите врсте баштине), резултати теренских и кабинетских истраживања и друго. Базу података креирају аутори карте у зависности од објеката који се желе приказати картом. У Табели 1 су приказани основни атрибути који би требало да буду у бази података, што не значи да је приказана табела апсолутна, дата је као пример.

**Табела 1:** Пример табеле атрибута у бази података деградираних простора

| Редни број | Име објекта | Лат. | Лонг. | UTM источно | UTM северно | Топографска основа | Површина ha |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Физички опис простора | Биодивер. | Карακт. деграда. | Процес деград. | Агенс | Опсерв. тачка-опис | Фотографије | Узорци |
| Хемиј. каракт. | Резултати | Порекло информ. | Аутор. тим | Надлеж. институ. | Прогноза | Литература | Напомене |

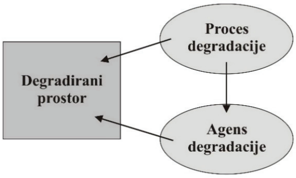
**Тумач карте** – је књига написана од стране аутора карте са детаљним објашњењима везаним за сврху карте (или карата), као и карактеристикама објеката који су на карти приказани. На топографским картама су ван оквира карте дати описи или помоћни материјал, као што је размерник и друге информације, углови итд. Како је еколошка проблематика различита од случаја до случаја, потребно је дати приказ процеса и објеката који се на карти приказују.

**Симболи** – за сада не постоји стандардизована симбологија приказивања појава код еколошког картирања (као што је то нпр. код географске или геолошке карте), већ се успоставља од случаја до случаја у зависности од проблематике која се обрађује и од аутора који карту раде.

**Боје** – за максималне вредности неког ентитета, нпр. загађивача се обично користи црвена боја, док код простора који има статус „заштићеног“ се обично користи зелена, плава или бела боја. И у овом случају још није успостављен систем стандардних боја. Од добрих примера примене боје је публикација Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services издата од стране Европске Агенције за Животну средину 2016. године [7].

У смислу приказа појава од интереса у екологији генерално постоје две категорије које треба просторно приказати: деградирани и заштићени простори. Донекле проблем представља, да се на карти прикажу сви процеси и агенси који утичу на нпр. деградацију неког простора. На Слици 1 је шематски приказан дијаграм „деградираног“ простора. У зависности од интереса, тј. онога што је за конкретно истраживање битно, неопходно је имати у виду три важна појма: деградирани простор, процес који доводи до деградације и агенс који доводи до деградације.

**Деградирани простор** у смислу израде еколошке карте је део земљине површине који је промењен на такав начин да је живом свету на том простору делимично или потпуно онемогућена егзистенција, каква је постојала до момента деградације.



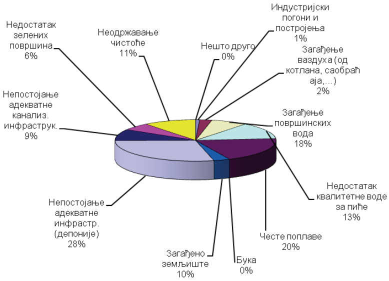
**Слика 1:** Шемтски приказ деградираног простора на еколошкој карти

**Процес деградације** се разматра у односу на животну средину, увек је физичко-хемијског карактера. Потребно га је схватити за сваки испитивани проблем (подручје од инереса). Узроци могу бити разни. На пример, ситни фрагменти са јаловишта рудника се разносе по околини. На овим објектима се увек налази и одређена количина руде која се налази у „не економским“ концентрацијама у агрегатима са јаловинским минералима, као и разни полутанти. Под утицајем воде и ваздуха (у случају пластичних фолија и сунца) долази до хемијских рекација које ослобађају полутанте, доводе до даљег уситњавања материјала и омогућавају његову дистрибуцију у животну средину путем ветра и кише. Ово можемо да припишемо „антропогеном и природном“ фактору. Такође процес може бити и нешто сасвим другачији, као што је земљотрес. Ако је јачине од $6^o$ Рихтерове скале и више, може да изазове приличну штету, ово је типичан пример „природног“ фактора.

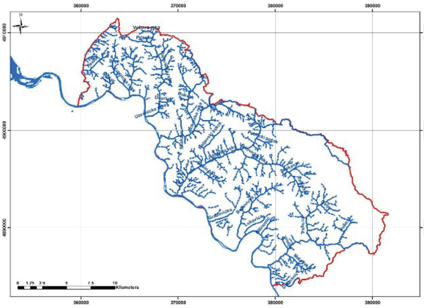
**Агенс** је оно што у ствари изазива деградацију. У случају јаловишта обојених метала то би била сумпорна киселина која настаје излагањем пирита и пиротина ($FeS_2$ і $Fe_{1-x}S$). У случају јаловишта обојених метала то би нпр. поред сумпорне киселине био и минерал, галенит – PbS који је срастао као микро зрно са пиритом и при распаду овог агрегата, олово водом доспева у животну средину. Такође, агенс може бити радијација коју емитују радионуклеиди, а који су доспели у животну средину нуклеарним катастрофама, као што су оне у Чернобилу и Фукушима Даиһи електранама. На еколошким картама би поред боје требало дати и натпис у оквиру приказаног поља нпр. $H_2SO_4$ или радиоактивност изражену у неким јединицама нпр. mSv/h (милисиверт по сату). Агенси би могли да се на карти приказују шрафурама или интензитетом неке боје, наравно, са објашњењем у легенди и тумачу карте.

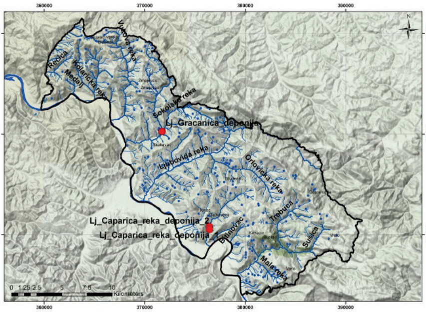
Као пример узели смо општину Љубовија (доле су приказане карактеристичне карте појава које девастирају екологију простора од инетереса) која је обрађена и све тачке од значаја су посећене и документоване на горе поменути начин 2013. године. Општина Љубовија се налази на крајњем западном делу Србије и припада Мачванском управном округу. Западну границу територије општине Љубовије представља река Дрина (граница

Србије), са источне стране налазе се општине Ваљево и Осечина, на северу се налазе општине Крупањ и Мали Зворник, док на југу овог подручја, границу представља општина Бајина Башта. Процес картирања и процене се може кохерентно структуирати коришћем добро успостављеног DPSIR (Drivers, Pressures, State, Impact and Response) – ППСУО (Покретач, Притисак, Статус, Утицај и Одговор) оквир. Ово је потребно код класификовања информација код анализе проблема животне средине и уочавања поступака за њихово решавање [8]. Обрађени су: геоморфологија, геологија, клима, воде, ваздух, земљиште, шуме, биодиверзитет, станишта, заштићена природна подручја, минерални ресурси, депоније, притисци на животну средину, услуге (водоснабдевање, одвођење отпадних вода, управљање отпадом), оквир за управљање природним ресурсима, DPSIR анализа, анкета о стању природних ресурса и наравно ГИС база података.

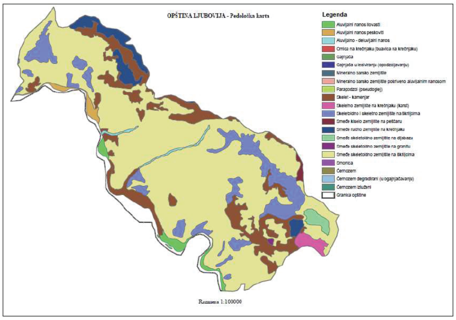


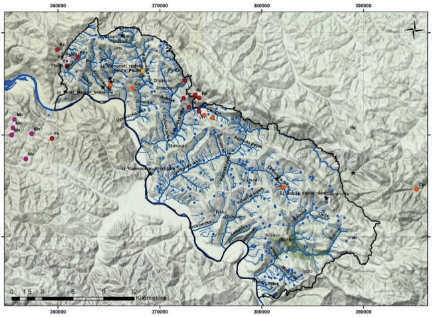
**Слика 2:** Шема најчешћих еколошких претњи на простору Љубовије [9]



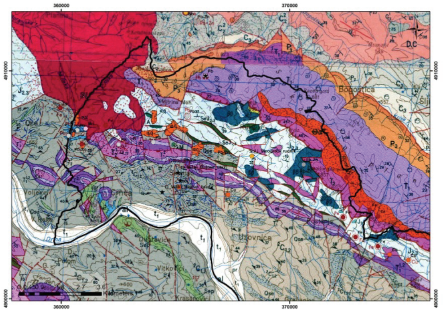


**Слика 3:** Хидролошка карта Љубовије [9] **Слика 4:** Депоније отпада Љубовије 2013 [9]

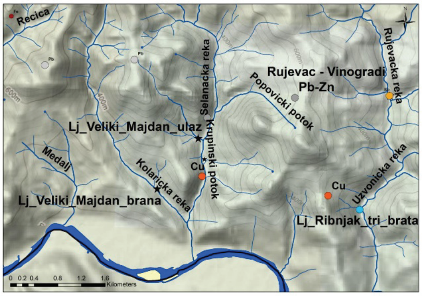




**Слика 5:** Педолошка карта Љубовије [9] **Слика 6:** Карта појава мин. сировина [9]



**Слика 7:** Геолошка карта простора лежишта Велики Мајдан и Рујевац [9]



**Слика 8:** Прегледна карта лежишта Велики Мајдан и Рујевац [9]

## 3. ЗАКЉУЧАК

Овај рад је у ствари пилот приказ девастираности једне области. Шематски су приказане најчешће еколошке претње (дате су неке карактеристичне карте) којима је приказано стање и појаве девастације простора општине Љубовије.

Ситуација од времена када су узети узорци и када су обрађене све тачке од значаја истраживање (истраживање из 2013. године) је сигурно промењена. Надамо се да ћемо у неком наредном периоду имати прилике да поново посетимо опсервационе тачке и добијемо нове информације и проучимо ситуацију у том тренутку, као и да извршимо поређења.

*Напомена: Овај рад је написан у оквиру Пројекта 1.24 МО и ВС за 2023. годину.*

## ЛИТЕРАТУРА

[1] https://www.google.com/search?q=history+of+ecology&rlz=1C1YTUH_enRS1043RS1043&oq=history+of+ecology&aqs=chrome..69i57j0i19i512l9.10023j0j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8.

[2] McIntosh, R. P. (1985). *The Background of Ecology: Concept and Theory*. New York: Cambridge University Press. ISBN 9780521270878.

[3] Laferrière, E., Stoett, P. J. (2003). International Relations Theory and Ecological Thought: Towards a Synthesis. Routledge. pp. 25–. ISBN 978-1-134-71068-3.

[4] Ramalay, F. (1940). *The growth of a science*. University of Colorado Studies. 26: 3–14.

[5] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nuclear_weapons_tests.

[6] Kraak M. J., Ormeling F. J., 2009, *Cartography, Visualization of Spatial Data*, London, Routledge, pp 216.

[7] Maes, J. (2016). *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services*. European Commission; 2016. JRC103530

[8] Ness, B., Anderberg, S., Olsson, L. (2010). *Structuring problems in sustainability science: The multi-level DPSIR framework*. Geoforum. 41 (3): 479–488. doi:10.1016/j.geoforum.2009.12.005. ISSN 0016-7185.

[9] Група аутора, 2014., Студија о одрживом коришћењу и заштити природних ресурса у прекограничном подручју Србија - Босна и Херцеговина, COOR и UNECO.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПЛАНИРАЊЕ И ОБРАДА ПОДАТАКА СНИМАЊА ПРИКУПЉЕНИХ БЕСПИЛОТНИМ ЛЕТЕЛИЦАМА

# PLANNING AND PROCESSING OF RECORDING DATA COLLECTED BY UNMANNED AERIAL VEHICLE

ВАЛЕНТИНА В. РАДОЊИЋ[1], ДЕЈАН Р.ЂОРЂЕВИЋ[2], САША Т. БАКРАЧ[3],
ВУЈАДИН Г. СТАНОЈКОВИЋ[4], САША МИЛ. СТАНКОВИЋ[5]

[1] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, valentinaradonjic2308@gmail.com
[2] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, dejandjordjevic.vgi@gmail.com
[3] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, sasa.bakrac@vs.rs
[4] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, vuja755@gmail.com
[5] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, ziger71@gmail.com

---

***Резиме:*** *У раду се обрађују процеси планирања и обраде података прикупљених снимањем беспилотним летилицама. Предметом рада анализира се и софтверски пакет, Wingtra Pilot, као основа за планирање снимања и прикупљања просторних података беспилотном летелицом WingtraOne. Анализиран је и независни софтверски пакет Agisoft Metashape. Овим софтверским пакетом врши се фотограметријско процесуирање дигиталних фотографија и генерисање 2Д геопросторних података који се даље користе у ГИС апликацијама као и 3Д визуализацији. У раду се наглашава употреба беспилотних летелица за формирање генерисог ортомозаика високе резолуције и детаљног 3Д модела терена. Посебно је истакнута улога беспилотних летилица код прикупљања подтако о терену. Тако, беспилотне летилице пружају могућност израде карата високе прецизности, чак и у сложеним или тешко доступним окружењима. У раду се закључује да је беспилотна летилица WingtraOne једно од могућих решење за прикупљање просторних података и израду неких геотопографских материјала за потребе Војногеографског института – „Генерал Стеван Бошковић“*

***Кључне речи:*** *обрада података, карта, беспилотне летелице, просторни подаци.*

***Abstract:*** *The paper deals with the processes of planning and data processing collected through unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. The focus of the study is the analysis of the software package Wingtra Pilot as a basis for planning UAV imaging and spatial data collection using the WingtraOne UAV. The independent software package Agisoft Metashape is also analyzed. This software package is used for photogrammetric processing of digital photographs and generating 2D geospatial data that are further utilized in GIS applications and 3D visualization. The paper emphasizes the use of UAVs in creating high-resolution orthomosaics and detailed 3D terrain models. The role of UAVs in terrain data collection is particularly highlighted. UAVs provide the possibility of producing high-precision maps, even in complex or inaccessible environments. The paper concludes that the WingtraOne UAV is one of the possible solutions for spatial data collection and the creation of certain geospatial materials for the needs of the Military Geographical Institute – "General Stevan Boskovic".*

***Keywords:*** *Data processing, Map, Drones, Spatial Data.*

---

## 1. УВОД

Истраживање беспилотном летелицом нуди се као могућност за прикупљање просторних података. Овим системом могуће је извршити топографска снимања истог квалитета, као и веома тачна мерења прикупљена традиционалним методама снимања, као што су класичан терестрички или аерофотограметријски премер. Беспилотни аерофотограметријски системи се предлажу за премер површина које су сувише велике за класичан терестрички премер, а сувише мали за класичан аерофотограметријски премер.

Једна од погодности коришћења беспилотних летелица је снимање површина у кратком временском периоду са траженом прецизношћу. Такође, аутоматизованом ГИС анализом могуће је издвојити нагиб мерења из дигиталног модела терена (ДМТ) и дигиталног модела површи (ДМП) добијених преко слика прикупљених беспилотним летелицама. Једна од беспилотних летелица која пружа добре могућности за потребе снимања простора је WingtraOne (Слика 1). Опремљена је камером за снимање високе резолуције, марке Sony, као и мултиспектралном камером компаније Micasense. Камере се лако могу заменити на терену, чинећи исти дрон погодним за различите примене. Користећи интуитивни софтвер за планирање лета и потпуно аутономне операције летења, оператери могу да сниме геотаговане слике из ваздуха без посебних вештина за управљањем. Излазне слике WingtraOne могу се обрадити у свим стандардним софтверима за фотограметрију да би се креирали високо прецизни ортомозаици и 3Д модели.

У овом раду објашњен је поступак планирања снимања беспилотном летелицом WingtraOne. Приказан је и софтвер за планирање снимања WingtraPilot, као и софтвер за накнадну обраду података AgisoftMetashape.

**Слика 1:** Беспилотна летелицаWingtraOne

## 2. ПЛАНИРАЊЕ СНИМАЊА

Планирање снимања беспилотним летелицама спроводи се тако што се софтвер за планирање снимања упари са беспилотном летелицом. На овај начин се управља летом и прикупљеним снимцима из ваздуха. У случају коришћења летилице WingtraOne, користи се интегрисан софтвер WingtraPilot. Овај софтвер је земаљска контролна станица и користи се за планирање лета и повратне информације током лета. Софтвер даје могућност дизајнирања и побољшања перформанси беспилотне летелице.

За потребе прављења плана лета потребно је пратити упуства коју даје апликација WingtraPilot. Приликом прављења сваког новог плана лета од оператера се тражи да уносе описно име (уобичајено се предлаже тренутни датум и време). У почетку, оператер бира камеру која ће се користити, а након тога почиње рад на софтверу кроз увоз Keyhole Markup Language (КМЛ) датотеке, тј. креирање плана лета и постављање почетне позиције. КМЛ формат датотеке је формат који се користи за приказивање географских података у прегледачу Земље, као што је Google Earth.

### 2.1. Увоз КМЛ датотеке, почетак креирања плана лета и постављање почетне позиције

КМЛ датотеке дају флексибилност планирању пројектовања на основу унапред дефинисаних граница из Google Earth-a. Сложене области се могу аутоматски издвојити из КМЛ датотека полигона, без потребе за цртањем полигона области у софтверу Wingtra Pilot.

Креирање плана лета представља полазну основу за планирање сваког фотограметријског снимања [1]. Одређивање почетне позиције беспилотне летелице за полетање и слетање представља постављање почетне позиције (куће). Почетна позиција се додаје у софтверу WingtraPilot. Уколико се на терену одређује почетна позиција, софтвер се аутоматски повезује са беспилотном летелицом и његова локација ће представљати почетну позицију. Уколико локација није видљива при планирању лета, неопходно је отићи до жељене локације или користити функцију претраге. Потребно је подесити висину прелета и смер прелета, како се беспилотна летелица не би сударила ни са једном препреком. Слетање је увек индентично полетању.

Беспилотна летелица треба да буде удаљена најмање 5 метара од препрека са брзином ветра до 5 m/s и 15 метара ако је брзина ветра већа на земљи [2]. Летелица се поставља на равно тло (нагиб мањи од 10°). Треба обратити пажњу да летелица не буде у блату и да трава која је окружује није превисока.

## 2.2. Додавање области или коридора

Да би се планирани простор снимио, додаје се једна или више области у план лета. Области се могу додати ручно или увожењем КМЛ датотеке и трансформацијом полигона КМЛ датотеке у области. За сваку могућност постоји одабир жељене удаљености летелице од тла Ground Sampling Distance (GSD), која дефинише величину пиксела на тлу. Директно је повезан са висином лета, која се може алтернативно подесити. Пожељно је прилагодити правац лета, такође се може подесити бочна и предња преклапања слика. Препоручљиво је смањити бочна преклапања [2] да би се максимизирала површина то јест минимизирало време лета. Поуздани ортомозаици могу да се генеришу од слика снимљених са само 60% предњег и бочног преклапања за подручја без шума или зграда. За софистицираније пејзаже, мора се повећати преклапања.

Уколико се план лета прави за снимање линеарних карактеристика, као што су путеви, железнице или друге линеарне инфраструктуре, онда се користи област коридора за снимање. Подручје коридора је подељено на сегменте, због промене правца дуж линијског обележја (кривина пута, цевовода, железничке пруге итд.). Беспилотна летелица Wingtra One снима сегменте узастопно. Број линија лета је увек непаран, да би се оптимизовало време лета и олакшао прелаз између сегмената. Максимална дужина једног сегмента може бити до 5 km. Дужи равни делови области која се снимају аутоматски ће бити подељени на сегменте. План коридора одражава прорачун сваког сегмента, с обзиром да они који су краћи од 100 m нису подржани.

20191212_1512 - Flight 1

Camera: RX1RII 42MP

Flight progress: 0%

Safety parameters

C1 Corridor

☑ Terrain following

Height above Ground 117 m

Ground sampling distance 1.5 cm/px

Corridor width 121 m

Side overlap 70 %

Front overlap 70 %

☐ Switch start and end point

☐ Turn flight direction 90°

Distance: 3.47 km | Time: 3 min 37 s | Total Area: 6.31 ha | # Images: 71 |

**Слика 2:** Приказ подручја полигона

### 2.3. Додавање путне тачке пребацивања и подешавање географске ограде

Уколико се у софтвер убаце више од једне области, оне се повезују преко Loiter Waypoint. То је круг којим беспилотна летелица лети да би се прилагодила од висине претходног подручја до висине следећег подручја. Његова локација се може ручно подесити током постављања плана лета, како би се обезбедио сигуран прелаз између области или између путање лета и почетне тачке.

Геоограда представља максималну дозвољену удаљеност од почетне позиције. Подразумевано, хоризонтална геоограда је подешена на 1200 m, а вертикална на 400 m. Повећање величине геоограде омогућава кориснику да ради са летелицом изван визуелне линије видљивости. Пре него што се промене ограничења геоограде потребно је уверити се да ће летелица летети унутар законских граница.

### 2.4. Контролна листа пре лета

Пре отпочињања лета, у фази припреме за исти, неопходно је проверити контролну листу. Ако било која од провера пре лета не успе (нпр. квар сензора) постаје црвена, тако да почетак лета није могућ [2].

Контролна листа обухвата следеће провере: контрола да ли је размак тла од полетања/слетања најмање 40 метара; контрола хардвера беспилотне летелице; повезивање беспилотне летелице (Wingtra One) са израђеним планом лета (Wingtra Pilot); провера напона батерије; провера да ли је беспилотна л етелица постављена на равном терену; подешавање интервенције при слетању; контрола ГПС сигнала, провера камере и меморијског простора; тестирање повезаности са Post Processed Kinematic (PPK) и почетак конфигурисања уређаја за прикупљање података; преглед плана лета; провера закрилаца и на крају провера околине.

## 3. СОФТВЕР ЗА ОБРАДУ ПОДАТАКА СНИМАЊА

Један од софтвера који има лидерску позицију када је у питању креирање квалитетних и прецизних података је AgiSoftMetashape [3].

AgisoftMetashape је независни софтверски пакет који врши фотограметријско процесирање дигиталних фотографија и генерисање 2Д геопросторних података који се даље користе у ГИС апликацијама и 3Д визуелизацији.

Приликом рада у овом софтверу прво се учитавају фотографије да би се започео процес мозаика и исправљања. Фотографије које садрже ГПС уграђене координате података доступних директно са камере или снимљене беспилотном летелицом омогућавају почетно референцирање слика на тло. Фотографије могу бити са различитих летова, висина и датотеке са подржаним стандардним форматима фотографија, као што су: .jpg, .png, .tif и други. Потребно је проверити да ли је координатни систем подешен на онај који је беспилотна летелица користила док је прикупљала фотографије (тј. Географски координатни систем, WGS84).

AgisoftMetashape поседује могућност процене унутрашњих параметара камере током поравнања и оптимизације камере, засноване на почетним вредностима [3]. Такође, може да обради фотографије снимљене различитим камерама у истом пројекту. Софтвер тада подели фотографије у више група (према резолуцији фотографија, жижној даљини и величини пиксела). Поступак обраде података обухвата следеће фазе: поравнање фотографија и поступак смањења и прилагођавања грешака у подацима, додавање контролних тачака на терену и поступак прављења густог облака тачака, креирање дигиталног модела надморске висине, креирање ортомозаика и извоз производа за употребу у ГИС-у.

## 3.1. Поравнање фотографија и поступак смањења и прилагођавања грешака у подацима

Процес поравнања фотографија обухвата три или четири корака за повезивање слике, заједно у аутоматизованом процесу корелације слика, како би се створио редак облак тачака.

Ова почетна фаза се може користити за избор најбољих фотографија које ће се користити за модел. Слике неодговарајућег квалитета се могу уклонити пре покретања процеса поравнања фотографија и на тај начин се може додатно уштедети време у процесу поравнања.

Оптимизација врши фотограметријско прилагођавање пакета најмањих квадрата. То значи да се користи за постизање веће прецизности у израчунавању спољашњих и унутрашњих параметара камере, као и за корекцију могућих изобличења.

Да би се смањиле грешке у подешавању, потребно је користити поступак постепене селекције неколико пута у циљу побољшања геометрије целокупног модела. Користе се три корака и понавља се по потреби да би се грешке смањиле што је више могуће.

- Неизвесност реконструкције представља уклањање лоших тачака због лоше геометрије (препоручује се ниво 10 због доброг односа основе и висине).
- Прецизност пројекције представља уклањање лоших тачака због грешака у подударању пиксела (препоручује се ниво од 2 до 3, јер на том нивоу не долази до статистичког оптерећења).
- Грешка репројекције представлја уклањање лоших тачака због преосталих грешака пиксела (циљ је достићи ниво од 0,3 пиксела).

Изабране тачке ће се приказати као ружичасте. Неопходно је избрисати те тачке и након тога, потребна је још једна оптимизација. Наведене процедуре треба да се понављају све док се не достигне ниво тачности пројекције од 0,3 пиксела.

## 3.2. Додавање контролних тачака на терену и поступак прављења густог облака тачака

Ради бољег побољшања модела и прецизности геореференцирања коначних излазних података додају се маркери или контролне тачке на земљи. Маркери треба да буду равномерно распоређени. У том циљу потребно је да буде између шест и 10 маркера. Додатни ГПС се може користити за валидацију модела. Потребна тачност треба да буде мања од 0,5 m. Маркери треба да буду довољне величине, како би се лоцирали на фотографијама [2].

Након што се идентификују означена два примера једне контролне тачке на земљи, софтвер ће покушати да пронађе остале маркере у фотографијама. Ово ће бити представљено плавим заставицама, али се неће користити као стварне контролне локације, све док оператер то не потврди, када оне постају означене као зелене. Када се поставе маркери на све своје контролне тачке на земљи, потребно је да се унесу координате сваке те тачке [4]. Координате земаљске контролне станице морају се претворити у децималне степене. Када се унесу координате, требало би поново оптимизовати модел и проверити да ли је грешка у метрима и пикселима, поред унетих координата.

Густи облак тачака представља скуп тродимензионалних XYZ координата тачака [5]. Свака тачка представља једно просторно мерење на површини објекта. Густи облак тачака се може извести из боље процењене позиције камере рачунајући неколико x, y, z тачака, као и додељивање вредности боја за прецизно креирање модела. Пожељно је подесити препоручене вредности за параметре. Уколико се изабере виши квалитет фотографије, то захтева више времена и више рачунарских ресурса. Уколико је геометрија простора сложена, као и ако има велики број ситних детаља или нетекстурних површина, препоручује се режим благог филтрирања.

### 3.3. Креирање дигиталног модела надморске висине, креирање ортомозаика и извоз производа за употребу у ГИС-у

Дигитални модел надморске висине (ДМНВ) може се генерисати на основу модела густог облака или мреже. Обично прва опција је пожељна, јер даје тачније резултате и омогућава бржу обраду, од корака генерисања мреже који се може и прескочити. Координатни систем треба да буде усклађен са системом који се користи за референцирање модела.

Приликом генерисања ортомозаика потребно је изабрати жељену површину (мрежу или ДМНВ) и режим мешања. Величина пиксела ће бити предложена у складу са просечном резолуцијом узорковања са оригинала фотографије. Према величини површине и величини улазног пиксела укупна величина ортомозаика (у пикселима) ће се израчунати и приказати у дну дијалога. Сви различити производи генерисани процесом моделирања могу се извозити у стандардне формате за употребу.

## 4. ЗАКЉУЧАК

У раду су приказани кораци у планирању употребе беспилотне летелице за снимања из ваздуха, као и њихова обрада у неком од предметних софтвера. Софтверски пакет Agisoft Metashape, беспилотна летилица WingtraOne и алат WingtraPilot представљају основу за процесе планирања, прикупљања и обраде просторних података. Један лет беспилотном летелицом WingtraOne даје пуно података и тражи доста накнадних мерења и радњи које се могу представити у различитим форматима (ортофото, облак тачака, контуре линија итд.).

Формирање генерисаног ортомозаика високе резолуције и детаљног 3Д модела терена су примарни производи који настају употребом предметног беспилотног система. Поред тога, употребом беспилотне летилице WingtraOne пружа се могућност израде неких геотопографских материјала - карата мањих просторних захвата и потребне детаљности.

*Напомена: Рад је проистекао из истраживања на пројекту 1.23, из Плана НИД у МО и ВС за 2023. годину.*

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Regodić, M., Đurić, M., Čekić, A. (2017). Digitalni ortofoto, pregledni naučni rad, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka.

[2] Vekom. Bespilotna letelica WingtraOne, https://vekom.com/portfolio/wingtraone/ (28.05.2023.)

[3] Agisoft. Discover intelligent photogrammetry with Metashape

[4] Kolarek, M. (2010). Bespilotne letjelice za potrebe fotogrametrije, *Ekscentar*, br. 12, 70-73

[5] Stanojković, V., Bakrač, S., Đorđević, D., Radonjić, V. (2022). Obrada podataka prikupljenih bespilotnim aerofotogrametrijskim letilicama, *Tehnika*, LXXVII, 683-689.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# СНИМАЊЕ ПОЉОПРИВРЕДНИХ УСЈЕВА МЕТОДОМ ДАЉИНСКЕ ДЕТЕКЦИЈЕ

# MONITORING AGRICULTURAL CROPS USING REMOTE SENSING METHOD

ДАРКО ЛУКИЋ[1], МИРОСЛАВ ВУЈАСИНОВИЋ[2], НИКОЛА ЗВИЈЕРАЦ[2],
СЛАЂАНА СТАНИШИЋ[2], МИОДРАГ РЕГОДИЋ[2]

[1] Универзитет одбране, Војна академија Београд, darko.lukic@va.mod.gov.rs
[2] Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет,
miroslav.vujasinovic@aggf.unibl.org, nikola.zvijerac@student.aggf.unibl.org,
sladjana.stanisic@aggf.unibl.org, miodrag.regodic@aggf.unibl.org

---

***Резиме:*** *Током последњих година, бројне владине агенције широм свијета су искористиле сателитску даљинску детекцију у циљу праћења и квантификовања пољопривредних култура, као и за процјене приноса усјева. Даљинска детекција може значајно да допринесе ажурности и прецизности пољопривредног сектора, пошто је погодна са прикупљање информација над великим подручјима, са високом просторном резолуцијом. Све већом употребом беспилотних летјелица и монохроматских сензора, који имају могућност прикупљања података у невидљивом дијелу спектра, могуће је на макролокацијама добити прецизније податке о стању земљишта и усјева. У раду су представљени резултати истраживања које је реализовано на пољопривредном комлексу на подручју града Бања Лука. За снимање пољопривредног комплекса коришћени су беспилотна летјелица Parrot Disco Pro AG и мултиспектрални сензор Sequoia.*

***Кључне речи:*** *Пољопривредни усјеви, Беспилотна летјелица, Дигитални снимци, Идентификација биљака.*

***Abstract:*** *Over the past few years, numerous government agencies worldwide have utilized satellite remote sensing for monitoring and quantifying agricultural crops, as well as estimating crop yields. Remote sensing can significantly contribute to the timeliness and accuracy of the agricultural sector, as it enables the collection of information over large areas with high spatial resolution. With the increasing use of unmanned aerial vehicles (UAVs) and monochromatic sensors capable of collecting data in the invisible part of the spectrum, it is possible to obtain more precise information about the state of land and crops at a macro level. This study presents the results of research conducted on an agricultural complex in the area of Banja Luka city. The UAV Parrot Disco Pro AG and multispectral sensor Sequoia were used for capturing the agricultural complex.*

***Keywords:*** *Agricultural crops, Unmanned Aerial Vehicle, Digital imagery, Plant identification.*

---

## 1. УВОД

Беспилотне летјелице се користе за извршавање задатака у областима цивилне заштите, безбједности, заштите животне средине, пољопривреде. У области пољопривреде, на основу снимања беспилотним летјелицама, може се успјешно пратити стање земљишта и пољопривредних култура.

Квалитет сензори за снимање из беспилотних летјелица, као што су камере за снимање у видљивом дијелу спектра, термалне и хиперспектралне камере, омогућава успјешно праћење стања земљишта и пољопривредних култура, каи и откривање потенцијалних деградација.

Једна од најважнијих користи употребе платформи заснованих на концептима фотограметрије и даљинске детекције је детекција и праћење стања усјева. Већина глобалних залиха хране је зависна од култивације неколико култура произведених током сезоне, укључујући кукуруз, пшеницу, соју и пиринач.

Током последњих година, бројне владине агенције широм свијета су искористиле сателитску даљинску детекцију у циљу праћења и квантификовања ових усјева, као и процјене приноса.

Употребом беспилотних летјелица и сензора који прикупљају податке у невидљивом дијелу спектра, могуће је на макролокацијама дати прецизније податке о стању земљишта и пољоривредних усјева.

## 2. ДАЉИНСКО СНИМАЊЕ У ОБЛАСТИ ПОЉОПРИВРЕДЕ

У оквиру даљинске детекције врше се мјерења и анализе без директног контакта са објектом над којим се та мјерења врше. Ова област је наишла на велику примјену у пољопривреди, гдје се преко даљинских снимака за врло кратко вријеме могу добити информације о врсти пољопривредних култура и њиховом стању. Могуће је предвидјети принос и тако помоћи пољопривредницима у доношењу одлука и расподјели средстава, као и извршити процјену удјела болесних биљака.

Анализом даљинских снимака вегетације може се доћи до информација о расту усјева од сјетве до бербе, промјенама у току сезоне, стању земљишта, као и присуству разног корова. Једна од честих примјена је детектовање вегетационих промјена, а врши се одузимањем пиксела једног снимка од пиксела другог снимљеног ранијег датума (анализа површине под шумама или неком другом културом). Вријеме аквизиције (снимања) је веома важно и зависи од циљева које крајњи корисник жели да добије, а у посљедње вријеме могуће је наручити слику истог подручја у размаку од 1 до 16 дана у зависности од платформе.

Суштински принцип праћења стања вегетације је помоћу разних вегетацијских индекса, пошто вриједност спектралне рефлексије биљке не даје пуно информација о стању биљке. Комбиновањем снимака из више различитих спектралних подручја, који се изводе по одређеним алгоритмима, добијају се вегетацијски индекси.

Вегетацијски индекси су квантитативне мјере којима се процијењује стање вегетације. Они показују бољи степен осјетљивости у односу на засебне спектралне канале при детектовању биомаса. Вегетациони индекси су од велике помоћи код интерпретације даљинских снимака за детекцију промјена земљишта, процјену стања здравља вегетације, њене густоће и распрострањености. Они представљају бездимензионалну мјеру, која се добија комбиновањем различитих спектралних канала који су осјетљиви на биљну биомасу.

Први вегетацијски индекс RVI (Ratio Vegetation Index), развили су R. L. Pearson и L.D. Miller још 1972. године.

$$\mathrm{RVI} = \frac{\rho_{\mathrm{RED}}}{\rho_{\mathrm{NNIR}}} \tag{1}$$

гдје је $\rho_{\mathrm{RED}}$ - вриједност спектралне рефлексије у црвеном дијелу сректра, а $\rho_{\mathrm{NNIR}}$ - вриједност спектралне рефлексије у блиском инфрацрвеном дијелу спектра.

Вегетацијски индекс RVI се одликује појачаним контрастом између земље и вегетације, пружа могућност умањења ефеката узрокаваних условима освјетљења, али је осјетљив на оптичка својства земљишта.

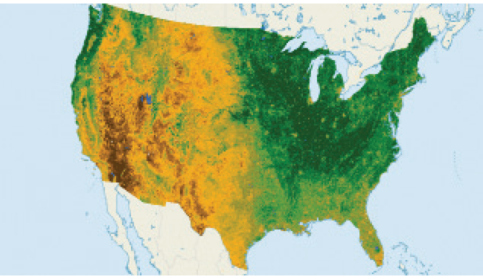
Најчешће коришћени мултиспектрални вегетацијски индекси су Вегетацијски индекс нормализоване разлике - NDVI (Normalized Differrence Vegetation Index) и Индекс нормализоване разлике црвене ивице – NDRE (Normalized Difference Red Edge Index). На основу NDVI индекса могу се пратити сезонске и вишегодишње вегетацијске промјене [2].

Вегетацијски индекс нормализоване разлике - NDVI је развио J. W. Rouse са сарадницима. NDVI је веома моћан индекс који се може израчунати на било којем даљинском снимку из блиског инфрацрвеног дијела спектра електромагнетне енергије.

Индекс пореди рефлектовану блиску инфрацрвену свијетлост са рефлетованом видљивом црвеном свјетлошћу и рачуна се на основу следећег математичког израза:

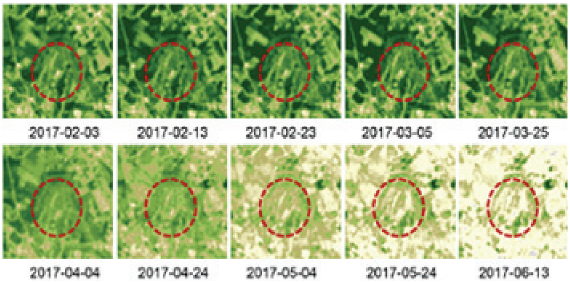
$$\mathrm{NDVI} = \frac{\rho_{\mathrm{NNIR}} - \rho_{\mathrm{RED}}}{\rho_{\mathrm{NNIR}} + \rho_{\mathrm{RED}}} \qquad (2)$$

Вриједности NDVI се крећу у опсегу између (-1) и (+1). Негативне вриједости индекса представљају воду, облаке, снијег, ријетку вегетацију (жбуње) или ливаду и имају умјерене вриједности (0,2–0,5), а вриједности (0,8–0,9) означавају вегетацију велике густоће. Вриједност индекса (0) представља голо или каменито земљиште, што се у пракси готово никада не сусреће. Примјена NDVI индекса на територији САД приказана је на Слици 1.



**Слика 1:** NDVI приказ површине Сједињених Америчких Држава [5]

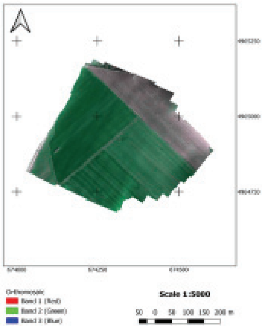
Основне карактеристике овог индекса вегетације су сљедеће: осјетљивост на присуство зелене вегетације, омогућава праћење пољопривредних усјева, разликује вегетацију од тла, нормиране вриједности смањују многе облике мултиспектралних шумова (топографске варијације, облаке, разлике осјетљивости Сунца). Примјена NDVI индекса на Sentinel-2 сателитском снимку приказана је на Слици 2.



**Слика 2:** Примјена NDVI индекса на Sentinel-2 сателитски снимак [3]

## 3. СНИМАЊЕ ПОЉОПРИВРЕДНИХ УСЈЕВА БЕСПИЛОТНИМ ЛЕТЈЕЛИЦАМА

Истраживање је обављено на подручју града Бања Лука, локалитет Пољопривредне школе Бања Лука (Слика 3). Локалитет је годинама третиран тако да постоји историја сјетве са свим подацима о третману усјева и земљишта, што је омогућило упоредну анализу земљишта.



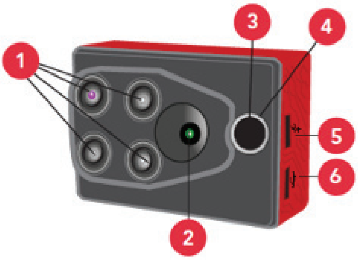
**Слика 3:** Подручје експеримента [1]

За снимање подручја експеримента коришћена је беспилотна летјелице Parrot Disco Pro AG, која користи мултиспектрални сензор Sequoia. Сензор је намјењен за снимања у пољопривредној производњи и одликује се великом прецизности, минималном величином и тежином, те једноставном употребом.

Сензор Sequoia дизајниран је тако да одговара свим врстама беспилотних летјелица, оним са фиксним крилима и коптерима. Може се користити за добијање снимака пољопривредних поља у неколико спектралних подручја, који мјере стање вегетације: зелена (таласна дужина 550 nm, ширина опсега 40 nm), црвена (таласна дужина 660 nm, ширина опсега 40 nm), Red Edge (таласна дужина 735 nm, ширина опсега 10 nm) и блиска инфрацрвена (790 nm таласна дужина, ширина опсега 40 nm).

Снимци забиљежени овим сензором могу се анализирати помоћу различитог софтвера. За потребе експеримента снимци су коришћени за израду индексних мапа (NDVI, NDRE итд.) и израду препорука у вези са ђубрењем, који се индикују кроз садржај азота, као главног минерала који утиче на развој биљака.

Садржај азота може бити одређен коришћењем зелене и red-edge индекса коришћењем зеленог (540–560 nm) и red-edge (730–750 nm) спектралног канала [1]. На Слици 4 приказана је мултиспектрална камера Sequoia.



**Слика 4:** Мултиспектрална камера Sequoia [4]

Поред података који су добијени мултиспектралном камером, кориштени су и подаци Европске свемирске агенције са сателитске мисије Sentinel 1, радарских снимака из којих су преузети подаци о температури земљишта (Land Surface Temperature).

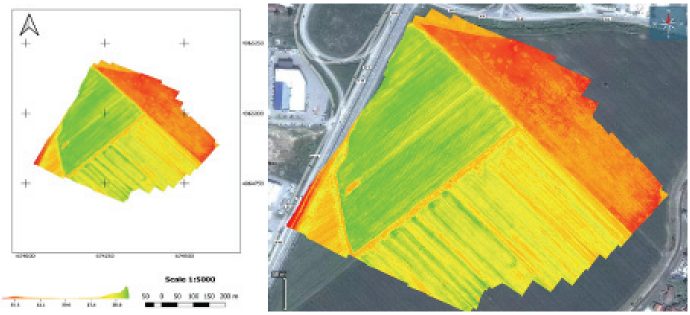
## 3.1. Резултати истраживања

За идентификацију фенолошких фаза биљака користе су различите фенолошке скале, које описују основне фазе раста и развоја житарица, као што су: клијање, ницање, бокорење, влатање, цвјетање и опрашивање, као и фазе сазријевања зрна. Фенолошком анализом током животног циклуса биљака уочавају се периодичне морфолошке промјене биљака, што поред идентификације фенолошке фазе указује на неопходну и правовремену агротехничку интервенцију над усјевима [1].

Кроз истраживање је праћен развој средње раних сорти пшенице Sobred и Grandior. У свим фазама вршена је упоредна анализа даљинском детекцијом и лабораторијским истраживањем. Sobred је веома приносна сорта пшенице, која је у просјеку висока око 80 cm, и има веома добру толеранцију на болести попут пјегавости, рђе и фузарије. Норма сјетве је 400-500 клијавих зрна по m². Graindor је сорта пшенице са одличним односом приноса и квалитета, чија просјечна висина биљке износи око 92 cm.

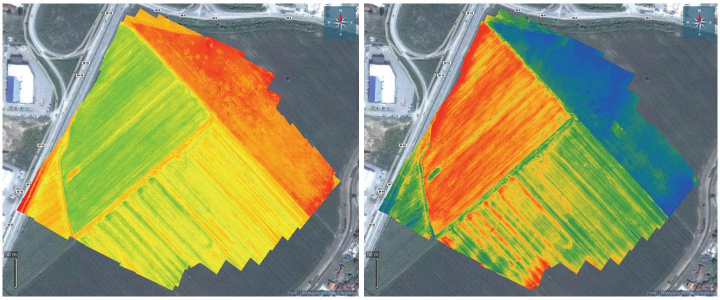
У свакој фенофази вршено је снимање усјева коришћењем мултиспектралног сензора и теренског узорковања надземног дијела биљке и лисне плоче апикалног листа, за које су лабораторијски одређиване концентрације азота.

Теренска мјерења и обрада прикупљених снимака за одређивање концентрације азота и фосфора вршена су у оквиру софтвера Pix4D Capture, Pix4D Mapper и Pix4Dfields (Слика 5). У свакој фази праћења креирана је ортофото површина и дигитални модел висина на основу којег се мјери раст биљака по пикселу.



**Слика 5:** Концентрација азота (лијево) и фосфора (десно) у листовима кроз алгоритам коришћењем мултиспектралних снимака UAV [1]

За процјену азота у листовима коришћен је регресиони модел креиран на основу резултата петопојасних рефлексија (зелена, плава и NDRE вриједности по пикселу), висине биљке, топографских параметара и лабораторијских вриједности азота у одређеним тачкама. Пропорција се користи за калибрацију скупа података коришћењем тачних вриједности и 4 узорка су коришћена за валидацију модела. На Слици 6 приказане су индексне карте добијене на основу индекса NDVI и NDRE.



**Слика 6:** Индексна карта на основу индекса NDVI (лијево) и индексна карта на основу индекса NDRE (десно) [1]

Резултати приказани у истраживању дају квалитетан модел за процјену концентрације азота у листовима биљака. Модел се може користити за предвиђане промјена концентрације азота према фази развоја биљке и за давање инструкција пољопривредницима, како, у којој области и са којом количином да врше ђубрење.

Предложени метод је донио квантитативне користи код уштеда времена на анализама поља. Једна од главних предности је смањење времена потребног пољопривредницима да сваке недјеље током сезоне развоја усјева спроводе праћење и узорковање, како би се утврдило стање и знаци болести биљака. Кроз овакав начин праћења биљака постоји могућности истраживања смањења обима третмана биљака.

## 4. ЗАКЉУЧАК

На основу даљинских истраживања могуће је реализовати прецизну пољопривреду. Кроз пројекат је ова развијена метода дала значајне резултате у области добијања правовремених информација коришћењем више врста података. Даљинска истраживања у видљивом и блиском инфрацрвеном спектралном подручју омогућавају мапирање садржаја хлорофила у листовима, што указује на кључне промјене усјева за услове раста и здравља. На основу ових истраживања могуће је процјенити статус азота за специфичне периоде раста и развоја вегетације.

Промјене код усјева, моделоване из података даљинске детекције, лабораторијских мјерења и анализа, служе за креирање модела, на основу којих је могуће добити садржај промјенњиве количине азота у биљци за одређивање потребе и количине ђубрења.

Захваљујући предложеном моделу, корисници добијају тачне информације о стању приноса, предвиђањима, као и мјерама дјеловања и плана третмана биљака. Кроз ову технологију и методологију могуће је остварити приступ информацијама на нивоу усјева, праћење развоја усјева кроз раст биљака и здравствене параметре, мапирање просторних промјена на нивоу усјева, побољшање стања и развоја усјева, процјену датума жетве и приноса током сезоне, као и смањење губитака у производњи и квалитету.

## ЛИТЕРАТУРА

[7] Амовић, М., Јанковић, И. (2022). Мониторинг обезбјеђености пољопривредних усјева минералним материјама даљинском детекцијом, СТЕПГРАД, 498-510.

[8] Sabo, F., Pavlović, S., Popović, D. (2014). Veza između vegetacijskih indeksa i detekcije šuma na osnovi Landsat 5 snimki. Ekscentar, br. 17, pp. 58-61

[9] Melillos, G., Themistocleous, K., Papadavid, G., Hadjimitsis, D. (2018). Detection of Military Underground Structures through the Remote Sensing Investigation of Phenological Cycle of Crops. Advances in Remote Sensing, Vol.7 No.3

[10] https://geomatika-smolcak.hr/proizvod/kamera-parrot-sequoia/

[11] https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ГЕОГРАФСКО ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМ И УПОТРЕБА У ВОЈСЦИ

# GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AND USE IN THE ARMY

ДЕЈАН ЂОРЂЕВИЋ[1], ДРАГОЉУБ СЕКУЛОВИЋ[2], МИХАЈЛО БОБАР[3]

[1]Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, dejandjordjevic.vgi@gmail.com
[2] Факултет за пословне студије и право, Универзитет „Унион-Никола Тесла“ у Београду, Београд, dragoljub.sekulovic@fpsp.edu.rs
[3]Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, bobarmihajlo96@gmail.com

***Резиме:*** *Информационо технологије могу се искористити за било који изазован задатак као што је планирање ратова. Географски информациони систем (ГИС), даљинска детекција и технологије вештачке интелигенције налазе се на врху ових ИТ алата који се заједно могу ефикасно користити за развој интелигентних система за планирање рата. ГИС игра кључну улогу у војним операцијама, пошто су у суштини просторне природе. У савременом модерном добу, ГИС је одличан алат за извођење војних операција где све информације морају бити достављене на брз и ефикасан начин. У војсци, ратне операције, у великој мери, зависе од доступности тачних информација како би се дошло до брзих одлука за оперативна наређења. Војне снаге користе ГИС у разним апликацијама, укључујући картографију, обавештајне податке, управљање војиштима, анализу терена, даљинско испитивање, управљање војним постројењима и праћење могућих терористичких активности. У случају војске, ГИС картирање ће помоћи војсци да има јасну представу о простору по коме морају да се крећу, као и да би комуникациони центар пратио кретање трупа у географском окружењу.*

***Кључне речи:*** *Географско информациони системи, војска, војне карте.*

***Abstract:*** *Information technology can be used for any challenging task such as war planning. Geographic Information System (GIS), remote sensing, and artificial intelligence technologies are at the top of these IT tools that can be effectively used together to develop intelligent war planning systems. GIS play a key role in military operations, as they are essentially spatial in nature. In today's modern age, GIS is an excellent tool for conducting military operations where all information must be delivered in a fast and efficient manner. In the military, war operations, to a large extent, depend on the availability of accurate information in order to arrive at quick decisions for operational orders. Military forces use GIS in a variety of applications, including cartography, intelligence, military base management, terrain analysis, remote sensing, military installation management, and monitoring possible terrorist activity. In the case of the army, GIS mapping will help the army to have a clear idea of the space in which they have to move and also for the communication center to track the movement of troops in the geographical environment.*

***Keywords:*** *Geographic information systems, army, military maps.*

## 1. УВОД

Данас, тачна и брза информација представља моћ, а самим тим и најсигурнију и најлегитимнију „*машину за доминацију*“. Крајем 20. и почетком 21. века дошло је до драстичних промена у међународној војно-политичкој ситуацији и националној безбедности. Претње су се промениле, стратегије одбране/борбе су еволуирале и могућности опреме су се повећавале с технолошким напретком. Структура светских војних снага драматично се мења. Светске оружане снаге пролазе кроз велику транзицију осмишљену да искористе модерне технологије засноване на интеракцију људи у интеракцију без људи. Употребљавају се интегрисани системи који омогућавају заједничким снагама (комбинована војска, ваздухопловство и морнарица) да беспрекорно извршавају потребне задатке [1]. Војни сукоби истичу потребу за пружањем нове врсте борбене подршке: геоинформација, укључујући географске, топографске, картографске, геодетске, навигационе, метеоролошке, геофизичке и еколошке подршке. Међутим, тренутне војне карте у разним издањима спречавају заједнички приказ. Према тренутним процесима, војни корисник бира стандардну карту, али не и подскуп садржаја или део покривености. Папирне карте немају потребне уграђене информације неопходне за подршку у аутоматизованим процесима одлучивања [2]. Једна од најважнијих функција ГИС технологије у војсци је да обезбеди командантима детаљне обавештајне податке вођене радним картама. Ова врста обавештајних података је веома корисна за давање командантима тачне слике војишта, коју могу користити за доношење операцијско-тактичких одлука. Војска Србије пролази кроз огромне промене како би искористила технологије информационог доба. Путем технологија усмерених на мрежу, сада се примењују дигитални подаци који приказују информације у реалном времену о војним ситуацијама у регионима, чиме се побољшавају процене ратних дејстава и доношењу одлуке. Ове информације укључују динамичко време, слику, карту, структуру снага и логистичко стање.

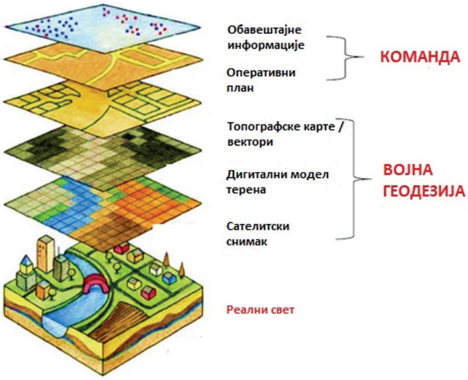
## 2. СПЕЦИЈАЛНА КАРТА БАЗА ВОЈНОГ ГИС-А

Зоне у војно-оперативном окружењу сложени су региони који укључују морске, копнене и ваздушне карактеристике које захтевају велике базе података са екстремним детаљима унутар релативно уских географских коридора. Војни команданти и њихови оперативни планери традиционално користе статичне производе у облику аналогних карата у различитим размерама. Међутим, брзо мењајуће бојно поље ратовања 21. века захтева динамична решења за картирање. Софтвер комерцијалног ГИС-а за војне специфичне апликације сада се развија и користи са дигиталним базама података за обезбеђивање прилагођених дигиталних карата променљивог размера, садржаја и симболизације прилагођених јединственим захтевима војних јединица [3]. Напредак у сензорској технологији, сателитским снимцима и теренска истраживања омогућила су генерисање и прикупљање велике количине геопросторних података, на све већем нивоу временског обухвата и просторне резолуције. Криптографија покушава да води рачуна о три важна својства информација укључујући поверљивост, аутентичност и интегритет, док се оне преносе јавном мрежом. То је метод шифровања оригиналних података на страни пошиљаоца користећи кључ и алгоритам пре преноса преко Интернета. ГИС су једна од најперспективнијих информационих технологија данашњице с обзиром на широки спектар могућности и подручја њихове примене. Он је рачунарски заснован информациони систем за унос, управљање, анализу и излаз географских података и информација. Бави се прикупљањем, складиштењем, проналажењем, манипулацијом, анализом и приказом просторно повезаних информација [4].

Дигитална обрада карата односи се на скуп техника за претварање слика карата (насталих скенирањем папирних или произведених као електронске растерске карте) у векторски формат. Ова конверзија је обично први корак за уграђивање географских информација садржаних у картама (нпр. контурне линије, називи насељених места, типови насеља и сл.) у просторно-аналитичко окружење, као што је ГИС. Од 1980-их година, развијени су различити системи за обраду топографских и географских карата (укључујући и софтверске и хардверске алате) како би се олакшали задаци ручне обраде истих. Данас су ефикасност, тачност и степен аутоматизације система за обраду карата значајно повећани (у погледу брзине обраде и могућности обраде разних карата и картографских карактеристика) [5]. Дефиниција карте треба да обухвати традиционалне и модерне карте, стварне и виртуелне као што су веб карте, 3Д и карте анимације, чак и глобусе.

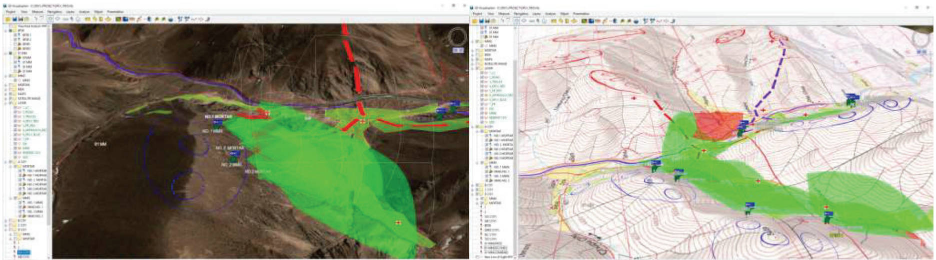
Приликом израде ГИС-а, у зависности од садржаја и намене, могу се укључити додатни елементе у његову структуру. Као што знамо, при планирању и извођењу војних операција, поред топографских карата, у војсци се широко користе специјалне карте и сателитски снимци.

Основна сврха израде специјалних карата је да се трупама дају додатни подаци о терену који нису доступни на топографским картама. У зависности од задатака, уколико се праве посебне карте, потребно их је дигитализовати и прикупити у посебну базу података како се не би с другим картама. Дакле, уз коришћење савременог картографског рачунарског софтвера, као што је ArcGIS, могуће је креирати нову специјалну картографску базу за војни ГИС – дигитално представљање стварног света (преклапање растерских и векторских слојева (Слика 1) [6].



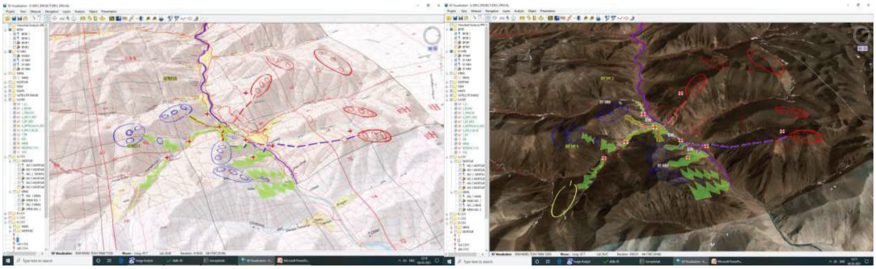
**Слика 1.** Варијанта војног ГИС-а (функционални блокови)

Након утврђивања садржаја специјалних карата, прегледавамо њихове врсте и наименовања, као и аеросателитске снимке које се налазе у посебној војној ГИС бази података. Технологије дигиталног картирања не само да пружају могућност израде традиционалних топографских карата, већ омогућавају и прилагођену симбологију карте или хибридне карте које комбинују слике са прекривеном симбологијом исте (Слика 2).



**Слика 2.** Распоређивање борбених средстава (минобацача)

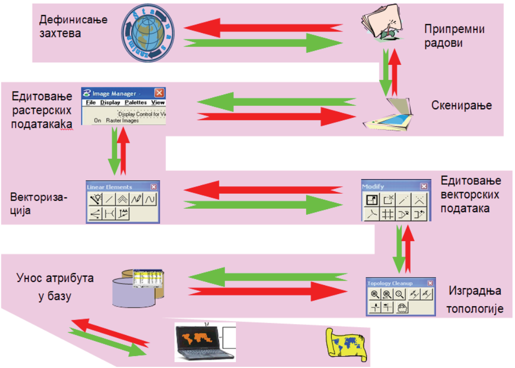
Геоинформационе технологије су дизајниране да повећају ефикасност процеса управљања, складиштења и презентација информације, обраду и подршку у одлучивању информација у рачунарском окружењу, које анализирају алате за доносиоце одлука. Тактички систем на војишту заснован на ГИС-у, такође би обезбедио свеобухватно решење и корак испред где би команданти и војници могли да виде и делују у оквиру 3Д (Слика 3).



**Слика 3.** Планирање примене тактичке одбране

## 3. НЕОПХОДНОС ГИС У ВОЈСЦИ

Данашњи геопросторни подаци морају прецизније и брже да представљају физичко окружење и његове ефекте како би помогли командама и командантима да визуализују оперативно окружење. Напредак ГИС-а омогућио нам је развој нових метода генерисања и управљања геопросторним информацијама, израду геопросторних производа и спровођење детаљних анализа о војним аспектима терена [7]. Према општем мишљењу, ГИС покрива следеће компоненте [8]: хардвер, софтвер, географске податке (база), кадрови, мрежа, стандарди и циљ за решење специфичног проблема. Наведене компоненте подједнако су важне за успех ГИС-а и имају значајну улогу у свим фазама функционисања (Слика 3).



**Слика 3.** Компоненте војног ГИС-а

Поред тога, постоје три циља ГИС-а:

- Складиштење, оперисање и повезивање великог броја података. Просторне и не просторне информације су у односу једне према другој и анализиране. Просторни подаци су тачка, линија и област, а не просторне су описне информације о тим географским обележјима. На крају имамо два типа података који су обрађени у ГИС-у: картографски (тачка, линија и полигон) и описни (описне табеле).
- Како би се анализирали географски подаци, пример: где су области које покрива наоружање нападача, обликовање логистичких рута на војишту и друго.
- Како би се обрадили сви ови подаци којима корисник са лакоћом може да приступи.

У снагама одбране ГИС је збирка, екстракција, складиштење, дисеминација и експлоатација геодетских, сликовних, ваздухопловних, топографских, хидрографских и топонимских података тачно геореференцираних на прецизну локацију на површини Земље.

Војни ГИС укључује алате који корисницима омогућавају приступ и коришћење података. Заједничке војне примене ГИС-а укључују подршку планирању, обуци и операцијама (навигација, мисија планирање, пробе мисије, моделирање, симулација и циљање). Тактички га користе војни команданти да побољшају разумевање утицаја геопростора на пријатељске и претње правце непријатељског деловања и друге услове оперативног окружења.

За прикупљање, обраду и анализу података и израду геотопографских материјала (ГТМ) користе различите методе, средства и опрема. То обезбеђује основни оквир за визуелизацију простора, односно за обавештајну припрему бојишта и геопросторне анализе терена. Геопросторни подаци у дигиталном облику са пратећом базом података, уз примену ГИС алата, омогућавају неограничени број комбиновања различитих вредности физичко-географских карактеристика земљишта. Добијени подаци могу се презентовати у нумеричком, векторском и графичком облику. Они се лако могу комбиновати са другим векторским и растерским подацима, као што су различите тематске карте, хидрометеоролошки подаци и др. [9]. Технологија ГИС-а повећала је ефикасност и аналитичку моћ традиционалне картографије. Кроз технику, познату као визулизација, ГИС се може користити за добијање не само карти, већ и анимација и других картографских производа. Наиме, традиционалне карте представљају замишљени приказ реалног света уз један одабрани део групе картографских елемената одсликаних на некој картографској подлози са симболима који представљају физичке објекте и обрисе терена с контурним линијама. Стварни изглед земљишта може се само замислити [10]. Војни команданти и њихови оперативни планери традиционално користе статичне производе у облику аналогних карата у различитим размерама. Међутим, брзо мењајуће бојно поље ратовања 21. век захтева динамична решења за картирање. Софтвер комерцијалног ГИС-а за војне специфичне апликације сада се развија и користи са дигиталним базама података за обезбеђивање прилагођених дигиталних карата променљивог размера, садржаја и симболизације намењених јединственим захтевима војних јединица.

Надоградњом ГИС, у домену Војске, настају командно-информациони системи. Њихова примена омогућава примање и обраду веће количине информација о сопственим снагама и непријатељу, као и о свим геореференцираним активностима у зони операције. Овим се омогућује сигурније сагледавање сопствених и непријатељевих могућности, како би команданти правовремено доносили одлуке и боље контролисали ток операције [9].

## 4. ЗАКЉУЧАК

Најважније оружје развијених земаља нашег доба је технологија и коришћење информационих технологија на терену. Од настанка човечанства, обавештајни подаци о непријатељским снагама одиграли су кључну улогу у постизању успеха над непријатељем. Али, прикупљање информација, њихова интерпретација и пренос до оних који доносе одлуке, такође су важни делови процеса доношења одлука. Концепти који доносе трансформацију информације још више истичу технологију, као један од најважнијих фактора. Ово, такође показује колико је тешко створити технологију на бојном пољу-војишту и зато је данас веома важно исту развити. Један од типова технологије који се користи за оперисање информацијама су ГИС. Он је допринео промени и саме географске оријентације, која се користила од дескриптивне и информативне ка проблемској. Најважнији сегмент ГИС-а јесте географска информација. Она подразумева и постојање просторне, временске и атрибутске компоненте. Свака од ових компоненти може се мењати, од чега зависи начин и избор анализе, зависи чување и презентовање самих информација.

Данас није лако прецизно дефинисати ГИС, јер ће одговора бити готово онолико колико има и корисника. Он може да се користи на разне начине, за најшире могуће потребе и због тога је можда једноставније кренути од традиционалне дефиниције, али уз „менталну белешку“ да се улога ГИС-а током последњих година непрестано мења. Значи, ГИС представља информациони систем за прикупљање, паковање, складиштење, проверу, анализу, моделовање и приказивање информација референтно везаних за површину Земље у посебне сврхе. Заједно са централном употребом података из ГИС-а, бележи се и повећана употреба података ГИС-а у мултикорисничким срединама, и све већа популарност претраживања карата на мрежи. Из наведеног, карте се могу користити у различите сврхе, и сада када постоје веома лаки начини за претраживање, њихова техничка побољшаност и боља доступност је веома важна. И остале географске анализе, као што је анализа профила, мерење растојања, мерење угла, анализа видљивости ноћу, алати за војне припреме, системи за координацију ватре, системи за планирање и надгледање постављања трупа и друго, од великог су значаја. Дате смернице не би имале значаја уколико се код самих корисника ГИС-а систематски не ради на развијању свести о томе да подаци с којима се располаже у њему не представљају апсолутно тачне величине, односно да је у крајњим резултатима анализа потребно дати и оцену њихове поузданости.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Bekele, N. (2019). Assessment and Modeling of Geo-Spatial Technology and Geo-Spatial Intelligence Support for Joint Military Operations. Journal of Geographic Information System, 11, 97-110. doi: 10.4236/jgis.2019.111008.

[2] Petrovski, A. & Tosevski, M. (2016). GIS in Army: Application of gis in georeconnaissance and C4IS in army purposes, DOI: http://dx.doi.org/10.18509/GBP.2016.21, UDC:004:528.85]:355.31(497.7), proceedings Geobalcanica 2016.

[3] Fleming, S. Jordan, T., Madden, M., Usery, L. E. & Welch, R. (2009). GIS applications for military operations in coastal zones ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 64, Issue 2, 213-222.

[4] Ondieki, C. M., & Murimi, S. K. (1997). Applications of geographic information systems. Environmental Monitoring, Vol. II, 314-340.

[5] Chiang, Y. et al. (2016), Assessing the impact of graphical quality on automatic text recognition in digital maps, Computers & Geosciences, Vol. 93, 21-35. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.04.013.

[6] Musaγev, I. and Gojamanov, M. (2018). Special Map Base of Military Geoinformation System, Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech., v.6, Special Issue, pp. 856-861, EURASIAN GIS CONGRESS 2018. ISSN: 2147-9364 (Electronic), DOI: 10.15317/Scitech.2018.176.

[7] Henrico, S., Coetzee, S. & Cooper, A. (2020). Is open source GIS feasible in military operations? evaluation by applying a USE case. Scientia Militaria, South African Journal of Military Studies, 48(1):41-60, doi:10.5787/48-1-1259.

[8] Sekulović, D., Borisov, M., Banković, R. (2005). Razvoj GIS u Vojsci, Simpozijum o operacionim istraživanjima, SYM-OP-IS 2005, Zbornik radova, Vrnjačka Banja, str. 679-682.

[9] Ђорђевић, Д., Бакрач, С., Славковић, Р. (2016). Поједини аспекти геотопографског обезбеђење у операцијама војске, Војно дело, Вол.1, Београд, стр.122-135, doi: 10.5937/vojdelo1602122D.

[10] Gigović, Lj., Sekulović, D. (2008). Vojno-geografska analiza reljefa primenom GIS tehnologije, 11. Međunarodna konferencija Upravljanje kvalitetom i pouzdanošću, ICDQM-2008, Zbornika radova, Beograd, str. 841-846. ISSN 1451-4966. UDK 658.56.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# CITYGML STANDARD ZA VIZUELIZACIJU 3D MODELA GRADOVA

# CITYGML STANDARD FOR THE VISUALIZATION OF 3D CITY MODELS

DRAGAN ĐURĐEVIĆ[1], DRAGANA SKORUP [2], MIROSLAV VUJASINOVIĆ [2],
TATJANA MALIČEVIĆ[2], GORAN MARINKOVIĆ[3], ZAGORKA GOSPAVIĆ[4]

[1]Vojnogeografski institut, Beograd, dragan.djurdjevic.1982@gmail.com
[2]Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, dragana.skorup@aggf.unibl.org, miroslav.vujasinovic@aggf.unibl.org, tatjana.malicevic@student.aggf.unibl.org
[3]Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, goranmarinkovic@uns.ac.rs
[4]Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, zaga@grf.bg.ac.rs

***Rezime:*** *U radu je opisan razvoj CiyGML standarda za vizuelizaciju 3D gradskih modela kroz istoriju. Prikazane su osnovne karakteristike, promene i pravac u kojem će se standard dalje razvijati kako bi ispratio nove tehnološke revolucije koje se svakodnevno dešavaju.*

***Ključne reči:*** *CityGML, LOD, 3D model gradova.*

***Abstract:*** *This document presents the development of CityGML international standards for the visualization of 3D city models. The underlying concepts, modifications, and the direction in which the standard will be further developed in order to follow the new technological revolutions that are happening every day are presented.*

***Keywords:*** *CityGML, LOD, 3D city models.*

## 1. UVOD

Predstavljanje gradske, urbane sredine upotrebom 3D geometrije gradskih objekata i struktura, sa naglaskom na zgrade, naziva se 3D gradski model [1]. 3D gradski model danas je jako zastupljen u mnogobrojnim primenama za urbanističko planiranje, simulaciju životne sredine i buke, navigaciju, upravljanje katastrofama, 3D katastar, turizam i slično [2]. Za većinu ovih primena sama geometrijska i grafička predstava bez semantičkih podataka o objektu nema veliki značaj. Semantički 3D modeli gradova se mogu definisati kao skupovi podataka koji predstavljaju objekte stvarnog sveta kao što su zgrade, ulice, vegetacija, vodene površine, mostovi i dr., sa njihovim tematskim, geometrijskim, topološkim i vizuelnim svojstvima [3].

Sa namerom da se obezbedi interoperabilna razmena i višestruko korištenje 3D gradskog modela od strane različitih aplikacija i softverskih sistema Open Geospatial Consortium (OGC) razvio je standard City Geography Markup Language (CityGML). Praćenje razvoja standarda nameće se kao obaveza i potreba u svetu u kojem je razvoj tehnologije uslovio i razvoj informacionih sistema u svim oblastima primene [4]. U radovima Biljeckog, Gröger, Kolbe i Kutzner opisan je standard, njegova primena, kao i razvoj standarda kroz godine.

U ovom radu će biti opisan hronološki razvoj standarda počevši od verzija 1.0 iz 2002. godine, pa do CityGML 3.0 Encoding standarda. Takođe, u radu će biti reči o potrebi za stalnom modernizacijom i unapređivanjem ovog standarda, kao i njegovom uticaju na razvoj geoinformacionih sistema.

## 2. ISTORIJA RAZVOJA CITYGML

Open Geospatial Consortium (OGC) je razvio CityGML standard za modelovanje i razmenu semantičkih 3D modela gradova [5]. CityGML je implementiran kao aplikaciona šema za

Geography Markup Language GML verziju 3.1.1 (GML3). Specifikacije definišu model podataka koji može biti implementiran na različite platforme (Oracle, PostGIS) i format razmene koji služi za transfer podataka između ovih platformi [6]. Glavni fokus je na semantičkoj definiciji svih objekata (features) koji su relevantni za primenu 3D modela grada: zgrada i njihovih delova (delovi zgrade, zidovi, krovovi, vrata, prozori), voda, vegetacije, teren i dr. [7].

Standard je pokrenut 2002. godine od strane Special Interest Group 3D (SIG 3D) [7]. SIG 3D grupa nalazi se pod pokroviteljstvom Spatial Date Infrastructure Germany, koja okuplja više od sedamdeset članova iz Nemačke, Austrije, Švajcarske, Velike Britanije i Holandije. Prva implementacija i evaluacija CityGML izvršena je 2005. godine u projektu "Pilot 3D" u Severnoj Rajni – Vestfalija. CityGML 1.0 verzija je usvojena 2008. godine kao OGC standard i od tada počinje da se koristi širom sveta za prikaz 3D gradskih modela [8]. Nova verzija je planirana kao manja revizija prethodne verzije, ali s obzirom na OGC direktive to nije bilo moguće, pa je 2012. godine objavljena nova CityGML 2.0 verzija. CityGML 2.0 je kompatibilan sa CityGML 1.0 s tim da je potrebno da se izvrše odgovarajuća usklađivanja [5]. Najznačajnije promene u odnosu na CityGML 1.0 ogledaju se u mogućnosti predstavljanja mostova i tunela, nadogradnje već postojećih modula, kao i promene specifikacijskog dokumenta sa aspekta zahteva za tačnost za odgovarajuće nivoe detaljnosti [9].

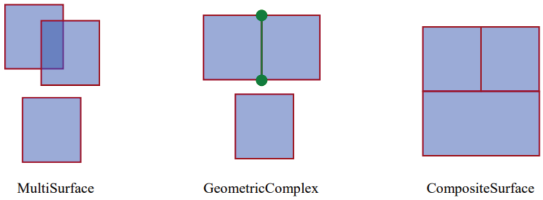
## 3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE CITYGML 2.0

CityGML predstavlja geometrijske, semantičke, topološke i vizuelne aspekte 3D gradskih modela. Standard koristi podskup GML3 geometrijskog modela koji je implementacija ISO 19107 prostorne šeme. Predstavljanje geometrije je izvršeno dobro poznatim načinom predstavljanja granica (Boundary Representation), gde je svako telo ograničeno zatvorenom površinom [5].

Za svaku dimenziju postoji geometrijski primitiv, i to: nulta dimenzija - tačka (_Point), jednodimenzionalna - kriva (_Curve), dvodimenzionalna - površina (_Surface), trodimenzionalna - telo (_Solid), od kojih svaki može biti u svom referentnom koordinatnom sistemu [10]. Telo je ograničeno površinom, dok je površina ograničena krivim. CityGML koristi podskup ISO 19107, sa sledeća dva ograničenja [11]:

- Curve mogu biti samo prave linije (klasa LineString);
- Surface su predstavljene poligonom čime je definisana ravanska geometrija (granice i unutrašnje tačke moraju biti u istoj ravni).

Kombinovane geometrije mogu biti agregati i kompleksi ili kompoziti primitiva (Slika 1).



**Slika 1:** Primeri kombinovanih geometrija [5]

Agregatne geometrije kao što su MultiPoint, MultiCurve, MultiSurface ili MultiSolid ne nameću topološka ograničenja i samim tim njihove komponente mogu biti kombinovane ili razdvojene. Kompozitna geometrija kao CompositeSolid, CompositeSurface ili CompositeCurve moraju biti topološki i izomorfno povezane sa primitivom iste dimenzije [2].

Semantički model CityGML koristi ISO 19109 standard za modelovanje geografskih objekata. Entiteti iz stvarnog sveta su modelovani objektima (features) kao što su [3]: zgrade, zidovi, prozori ili sobe. Oni su modelovani u klase koje su opisane Unified Modeling Language (UML) jezikom. Geografski objekti mogu imati proizvoljan broj prostornih i neprostornih atributa. Može se koristiti objektno - orijentisano modelovanje u cilju stvaranja specifikacija i formiranja hijerarhije. CityGML obezbeđuje definicije klasa, normative i objašnjenja semantike za najvažnije geografske sadržaje u okviru virtuelnog 3D gradskog modela, uključujući zgrade, vode, vegetaciju i gradski enterijer [3].

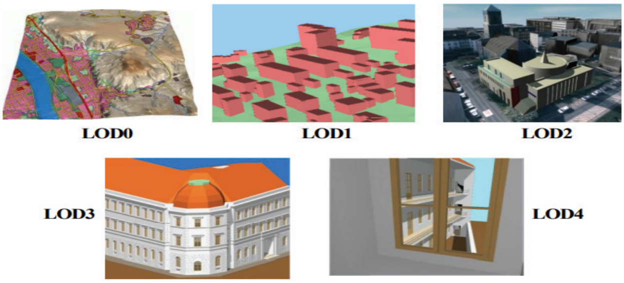
Pored prostornih karakteristika i semantike, izgled površine, tj. uočljivih svojstava površine, smatra se sastavnim delom 3D gradskih modela. “Appearances“ nisu ograničeni na vizuelne podatake već predstavljaju proizvoljne kategorije, tzv. teme kao što su infracrvena zračenja, buke, emisije sunčeve svetlosti ili čak zemljotresom izazvan poremećaj zemljine kore. Svakoj površini je dozvoljeno da se prikaže na više načina, s tim da je potrebno kreiranje odvojenih tema. Pomoću tema, takođe, multi teksture mogu biti podržane od strane CityGML [5].

## 4. TEMATSKA PREKRIVENOST

Standard nije ograničen samo na modelovanje zgrada, nego pokriva i sve ostale relevantne objekte (feature) koji se javljaju u urbanim sredinama. Za svaki od ovih objekata (feature) prikazane su semantičke definicije, atributi, veze i 3D prostorna predstava. Oni su organizovani u module, koji se mogu proizvoljno kombinovati koliko je to potrebno za određenu primenu. Ovakva kombinacija modula naziva se profil. Svi sadržaji definisani u modulima imaju atribute i geometrijske predstave u različitim nivoima detaljnosti (Levels Of Detail – LOD) [3].

CityGML je tematski razdvojen na osnovni modul (Core modul) i proširene module (thematic extension modules). CityGML 2.0 obuhvata trinaest tematski proširenih modula [5]: izgled (Apperance), most (Brige), zgrada (Building), gradski namještaj (CityFurniture), grupa gradskih objekata (CityObjectGroup), generički (Generic), namena zemljišta (LandUse), reljef (Relief), saobraćaj (Transportation), tunel (Tunnel), vegetacija (Vegetation), voda (WaterBody) i teksture (TexturedSurface).

Razlikuje se pet nivoa detaljnosti (LOD), pri čemu objekti sa većim nivoom postaju detaljnije prikazani uzimajući u obzir i geometriju i tematiku, kako je i prikazano na slici 2. CityGML datoteke mogu, ali ne moraju, sadržavati višestruke prikaze (i geometrije) za pojedini objekat u različitim LOD simultano [12]. Dostupni izvori podataka o objektima mogu biti u različitim oblicima i formatima [13].



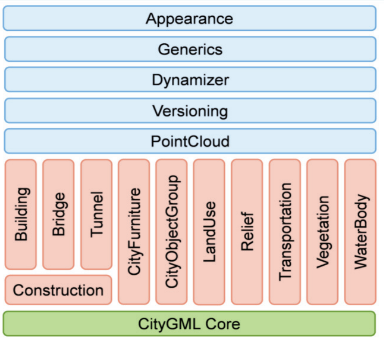
**Slika 2:** Nivoi detalja definisani u CityGML 2.0 [5]

Važno je napomenuti da je u praktičnoj primeni ponekad neophodno da se skladište i razmene dodatni atributi ili čak 3D objekti koji ne pripadaju nijednoj od unapred definisanih klasa. U tom slučaju CityGML obično nudi dva rešenja proširenja. Prva je upotreba generičkih gradskih objekata (GenericCityObject) i generičkih atributa. Bilo koji CityObject može imati proizvoljan broj dodatnih generičkih atributa. Drugi koncept za proširenje je takozvani CityGML Application Domain Extensions (ADE). ADE omogućavaju uvođenje novih karakteristika u postojeće CityObject klase, kao što je na primer broj stanovnika jedne zgrade.

## 5. OSNOVNE KARAKTERISTIKE CITYGML 3.0

Od 2013. godine počinje rad na novoj verziji CityGML 3.0 do strane OGC CityGML radne grupe (Standards Working Group - SWG) i posebne interesne grupe (Special Interest Group 3D-SIG 3D) za infrastrukturu geoprostornih podataka Nemačke (Geodata Infrastructure Germany GDI-DE) [7]. Verzija CityGML 3.0 se sastoji od dva dela. Prvi deo se odnosi na specifikaciju konceptulanog modela CityGML 3.0 koja je objavljena 13. 9. 2021. godine i CityGML 3.0 GML Encoding specification.

3D CityGML konceptualni model razvijen je 2021. godine i definiše otvoreni 3D CityGML konceptualni model za skladištenje i razmenu 3D gradskih modela. Definisan je na osnovu Unified Modeling Language (UML) objektnog modela koji je pak zasnovan na ISO TC 211 konceptualnom modelu standarda. Osnovni ciljevi ovog modela zasnivaju se na obezbeđivanju zajedničke definicije osnovnih entiteta, atributa i relacija 3D gradskog modela. Ovo je izrazito važno za održivi razvoj gradova u smislu mogućnosti reciklaže podataka za različite životne potrebe [14]. Konceptualnim modelom definisano je 17 modula, prikazanih na Slici 3.



**Slika 3:** Prikaz modula u CityGML 3.0 CM [14]

Novi moduli koji nisu postojali u CityGML 2.0 su Dynamizer, Versioning, PointCloud i Construction. Osim dodavanja novih modula izvršena je revizija Osnovnog (Core), Generičkog (Generics), Zgrada (Building) i Saobraćaj (Transportation) modula preuzetih iz CityGML 2.0. U okviru modula Konstrukcija (Construction) dati su zajednički koncepti za module Zgrada (Buildnig), Most (Bridge) i Tunel (Tunnel) koji modeluju građevinske strukture [15].

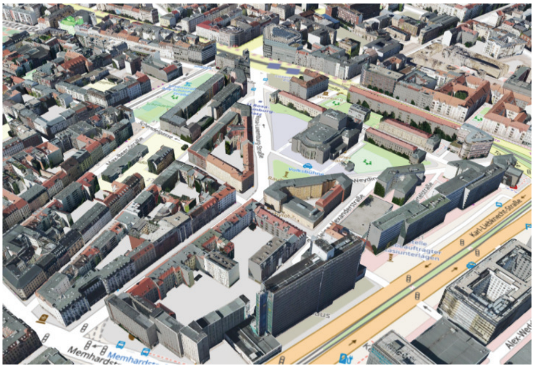
Na slici 3. pet modula proširenja obojeno je plavom bojom koji daju posebne aspekte modulima i koji se koriste u kombinaciji sa svim tematskim modulima i to [14]: modul Izgled (Appearance), modul Oblaka tačaka (PointCloud), generički modul, modul Versioning koji omogućava predstavljanje više verzija objekata, istorije objekata u stvarnom svetu i objekata u geoinformacionom svetu i modul Dynamizer koji omogućava predstavljanje gradskih objekata pomoću vremenskih serija i njihovo povezivanje sa senzorima, servisima za senzorske podatke ili eksternim datotekama.

U CityGML 3.0 su izvršene značajne promene u osnovnom (Core) modulu. Glavna promena je u predstavljanju prostornih elemenata u dve ključne abstraktne klase: prostori (Space) i granica prostora (SpaceBoundary). Iz ovih klasa se kasnije izdvajaju brojne podklase [14]. Space predstavljaju zapreminski objekti u stvarnom svetu kao što su zgrade, vode, sobe, drveće i sabraćajnice. SpaceBoundary, u suštini, povezuje i deli Space. U njih spada površina zidova, krovna površina, vodena površina kao granica između vode i vazduha, površina puta kao granica između zemlje i saobraćajnice ili digitalni model terena. Ovakvo razvrstavanje zasnovano je isključivo na semantici, a ne na korištenom tipu geometrije jer CityGML 3.0 dozvoljava različite geometrijske predstave objekata [15]. CityGML 3.0 razlikuje četiri nivoa detaljnosti. LOD4 je izbačen jer se unutrašnji i spoljašnji elementi sada mogu prikazati u LOD 0-3.

## 6. PRIMENA CITYGML

CityGML je implementiran u mnogim softverskim rešenjima i koristi se u mnogim projektima u svetu. Danas se stvaraju i razmenjuju 3D modeli gradova prema CityGML standardima. Modeli se koriste uglavnom za planiranje, urbanizam, razvoj poslovanja i turizam. Na primer, gradovi Berlin, Hamburg, Minhen, Drezden, Frankfurt i mnogi drugi pružaju CityGML kompatibilne 3D modele, slika 4. Naročito, CityGML može da pruži važne informacije za upravljanje katastrofama. To uključuje planiranje putanje za spašavanje i navigaciju u zatvorenom prostoru, kao i proširenje CityGML dinamičkim vodenim površinama unutar određenog ADE-a za slučaj poplava [16].

Srbija i region nastoje da prate korak velikih svetskih metropola, pa tako i izrada 3D modela gradova postaje jedan od prioritetnih pravaca u kojem se GIS razvija. U narednim godinama očekuje se ekspanzija ovih modela i prilagođavanje evropskim i svetskim standardima.



**Slika 4:** Prikaz 3D modela grada Berlina [16]

Napredak tehnologije se ogleda u razvoju sistema koji na osnovu podataka prikupljenih senzorima i internet inteligentnim uređajima (Internet of things - IoT) na osnovu napredne analitike i veštačke inteligencije omogućava uvid u realni svet [15]. CityGML preko novih modula omogućava predstavljanje gradskih objekata pomoću vremenskih serija i njihovo povezivanje sa senzorima, servisima za senzorske podatke ili eksternim datotekama. Takođe, omogućena je poboljšana podrška za simulacije i modelovanje, kao i brzi snimak grada uz predstavljanje vremenski promenjivih podataka koji će služiti za dokumentaciju i arhiviranje. Mogućnost prikazivanja modela kroz vremenski niz implicira dokumentovanje i rekonstrukciju istorijskih i savremenih događaja, uključujući rekonstrukcije mesta zločina i nesreća, istorijskih bitaka, izgradnje i rušenja objekata i slično [17].

## 7. ZAKLJUČAK

Razvoj tehnologije oblikuje naš svakodnevni život i utiče na sve njegove sfere. Kako bismo mogli napredovati u bilo kojoj oblasti jako je bitno da pratimo šta i kako se nešto razvija, a samim tim i izvodimo zaključke u kom smeru će se razvijati i koji naredni koraci razvoja tehnologije će biti preduzeti.

Razvoj CityGML 1.0 uslovila je potreba za adekvatanim standardom za predstavljanje 3D modela gradova, koji ranije nije postojao. Od svog začetka ovaj standard bio je popraćen praktičnim projektima kao što je 3D Pilot u Severnoj Rajni – Vestfalija ili projekat kartografisanja širenja buke. Razvoj sistema za vizuelizaciju i potreba za integracijom sa drugim standardima uslovila je CityGML 1.0 na modifikaciju i dalji razvoj u verziju CityGML 2.0. Danas je CityGML standard koji je široko prihvaćen od strane geoinformacione industrije i razvija se njegova sledeća verzija koja ide u korak sa velikim zahtevima tehnologije u današnjem svetu. CityGML je otvoren standard i konstantno se razvija. Sve zainteresovane strane u oblasti 3D modelovanja gradova mogu da doprinose njegovom razvoju, pogotovo u pravljenju programa koji podržavaju, obrađuju i vizuelizuju CityGML.

## LITERATURA

[12] Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., and Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. ISPRS International Journal of Geo-Information, vol.4, pp. 2842-2889.

[13] Yao, Z., Nagel, C., Kunde, F., Hudra, G., Willkomm, P., Donaubauer, A., Adolphi, T., Kolbe, T. H. (2020). 3DCityDB - a 3D geodatabase solution for the management, analysis, and visualization of semantic 3D city models based on CityGML. PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, vol. 88, pp. 43–61.

[14] Kolbe, T. H. (2009). Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML, In Lee, J., Zlatanova, S. (Eds.). 3D Geo-information Sciences. Springer, Berlin, pp. 15–31.

[15] Cvetinović, J., Gospavić, Z., Pejović M. (2014). Integracija CAD i GIS tehnologije za potrebe izrade informacionih sistema objekata korišćenjem ARCGIS-a. Tehnika, vol. 69, br. 1, str. 33-40.

[16] Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C., Häfele K.H. (2012). OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, version 2.0.0.

[17] Kutzner, T., Kolbe, T. H. (2018). CityGML 3.0: Sneak Preview. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., Vol.27, pp. 835-839.

[18] Preuzeto sa: http://www.sig3d.org/index.php/en/about-sig3d.html, 2023.

[19] Gröger, G., Kolbe, T. H., Czerwinski, A., Nage, C. (2008). OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, version: 1.0.0.

[20] Gröger, G., Plümer, L., (2012). CityGML – Interoperable semantic 3D city models. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol.71, pp. 12-33.

[21] François, A., Raffin, R., Daniel, M., (2020). Geometric data structures and analysis in GIS: ISO 19107 Case study. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-4/W15, pp. 115-120, 2020.

[22] Biljecki, F., Ledoux, H., Du, X., Stoter, J., Soon, K. H., Khoo, V. H. S., (2016). The most common geometric and semantic errors in CityGML datasets. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol.IV-2/W1, pp. 13-22.

[23] Skorup, D., Vasiljević, S., Sekulović, D., (2018). Geoinformacione inovacije: 3D gradski model. Primena novih tehnologija u menadžmentu i ekonomiji, ANTiM 2018, Vol. 2, pp. 572-586.

[24] Biljecki, F. (2013). The concept of level of detail in 3D city models. Ph.D. Research Proposal, pp. 42-46.

[25] Kolbe, T. H., Kutzner, T., Smyth, C. S., Nagel, C., Roensdorf, C., Heazel, C. (2021). GC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard.

[26] Kutzner, T., Chaturverdi, K., Kolbe, T. H. (2020). CityGML 3.0, New Functions Open Up New Applications, PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science, vol. 88, pp. 43-61.

[27] Preuzeto sa: https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/, 2023.

[28] Chaturvedi, K., Smyth, C. S., Gesquière, G., Kutzner, T., Kolbe, T. H. (2017). Managing Versions and History Within Semantic 3D City Models for the Next Generation of CityGML, Advances in 3D Geoinformation, Lecture Notes in Cartography and Geoinformation, Springer, pp.191 – 206.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# НАЦИОНАЛНА ИСПЛАТИВОСТ РУДАРСКОГ ПРОЈЕКТА СА ПОСЕБНИМ ОСВРТОМ НА ДРУШТВЕНУ ПРИХВАТЉИВОСТ

# NATIONAL VIABILITY OF A MINING PROJECT WITH A SPECIAL FOCUS ON SOCIAL ACCEPTABILITY

ДРАГАН ЗЛАТАНОВИЋ[1], ЈЕЛЕНА ИВАЗ[2], ДЕЈАН ПЕТРОВИЋ[3], МЛАДЕН РАДОВАНОВИЋ[3]

[1]Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору, dzlatanovic@tfbor.bg.ac.rs
[2]Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору, jivaz@tfbor.bg.ac.rs
[3]Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору, dpetrovic@tfbor.bg.ac.rs
[4]Универзитет у Београду, Технички факултет у Бору, mlradovanovic@tfbor.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Експлоатација минералних ресурса има значајну улогу у економском развоју многих земаља. Међутим, рударске активности често се суочавају са изазовима који се тичу њихове друштвене прихватљивости, јер могу имати негативне утицаје на локалне заједнице и животну средину. У Србији, рударство такође заузима важно место, али нови рударски пројекти све више се суочавају са изазовима везаним за друштвену прихватљивост. Ово истраживање ће пружити увид у факторе који могу утицати на прихватање или одбијање пројекта од стране локалне заједнице, као и смернице за унапређење друштвене прихватљивости рударских пројеката у Србији. Национална исплативост рударског пројекта је изазован циљ који захтева сарадњу између рударских компанија, Владе, локалних заједница и организација цивилног друштва.*

***Кључне речи:*** *рударски пројекат; национална исплативост; друштвена прихватљивост.*

***Abstract:*** *The exploitation of mineral resources plays a significant role in the economic development of many countries. However, mining activities often face challenges related to their social acceptability, as they can have negative impacts on local communities and the environment. In Serbia, mining also holds an important position, but new mining projects are increasingly facing challenges related to social acceptability. This research will provide insights into the factors that can influence the acceptance or rejection of a project by the local community, as well as guidelines for improving the social acceptability of mining projects in Serbia. Achieving national viability of a mining project is a challenging goal that requires collaboration among mining companies, the government, local communities, and civil society organizations.*

***Key words:*** *mining project; national viability; social acceptability.*

---

## 1. УВОД

Рударски пројекти често изазивају контроверзе и револт у локалним заједницама и еколошким покретима, који упућују на важност тражења новог смисла за ове пројекте. Питање исплативости минералних сировина обухвата како комерцијалну, тако и националну димензију.

Комерцијална димензија се односи на профит који се остварује из истраживања, експлоатације, припреме и продаје минералних сировина или производа добијених из њих. У овом контексту, исплативост се мери као разлика између цене коштања и продајне цене на тржишту. Компаније често покрећу рударске пројекте због очекиване финансијске добити. Међутим, проблем настаје када се приоритет ставља искључиво на профит, без обзира на негативне еколошке или друштвене последице. То доводи до оправданог револта локалне заједнице и еколошких покрета који се боре за заштиту природе, очување локалне средине и својих живота [1].

Национална исплативост је друга важна димензија коју треба узети у обзир при разматрању рударских пројеката. Она се односи на стратешке циљеве државе у вези са развојем одређених подручја, запошљавањем и заштитом кључних минералних сировина потребних за националну привреду. Држава има одговорност да промовише равномеран регионални развој и обезбеди запослење за локално становништво. Осим тога, постоје минералне сировине које су од стратешког значаја за привреду земље и које је потребно заштитити. У тим случајевима, национална исплативост се мери према дугорочним интересима земље, уместо само тренутног профита [2].

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Овај рад примењује свеобухватан преглед литературе како би испитао постојећа сазнања и разумевање националне исплативости и друштвене прихватљивости у контексту рударских пројеката. Анализирају се различити студијски случајеви и емпиријски докази из различитих земаља са циљем илустровања изазова и потенцијалних решења која се односе на постизање друштвене прихватљивости у рударским пројектима у Србији.

Национална исплативост рударског пројекта односи се на процену економских, социјалних, еколошких и стратешких фактора који се узимају у обзир приликом одлучивања о имплементацији рударског пројекта на националном нивоу. Овај концепт обухвата широк спектар елемената, укључујући финансијски аспект, економски раст, запошљавање, инфраструктуру, порезе, као и социјалне и еколошке факторе као што су друштвена корист, локални развој, заштита животне средине и исплативост [3].

За даљу анализу националне исплативости рударског пројекта, поред економских, социјалних, еколошких и стратешких фактора, важно је узети у обзир и друштвену прихватљивост пројекта. Ово укључује анализу ставова локалне заједнице, цивилног друштва и других релевантних актера према пројекту. Кључно је осигурати да су интереси и потребе локалне заједнице укључени у планирање и имплементацију пројекта.

Постоји неколико приступа и светских пракси у утврђивању националне исплативости рударских пројеката. Међутим, важно је напоменути да свака земља има своје специфичности и приоритете, па се приступи могу разликовати. У даљем прегледу овог рада приказаће се неколико примера значајних истраживања која су се бавила овом темом са фокусом на процену друштвене прихватљивости.

## 3. ПРОЦЕНА ДРУШТВЕНЕ ПРИХВАТЉИВОСТИ РУДАРСКОГ ПРОЈЕКТА

У светској пракси постоје бројни примери и решења која су се показала успешнима у постизању друштвене прихватљивости рударских пројеката. Транспарентна комуникација се истиче као кључан фактор у успешној имплементацији пројеката. Комуникација између рударске компаније, локалне заједнице и осталих заинтересованих страна треба да буде отворена, континуирана и правовремена. Ово омогућава размену информација, изградњу поверења, слушање и разумевање потреба и брига локалне заједнице, као и реаговање на њихове захтеве и преиспитивање планова у складу са њиховим интересима [4].

Такође, успостављање партнерства са локалним заједницама игра кључну улогу у постизању друштвене прихватљивости. Ово подразумева укључивање локалних заједница, организација и институција у процес доношења одлука. Партнерства пружају прилику за заједничко обликовање пројектних активности, идентификовање потреба заједнице и усмеравање инвестиција и ресурса ка иницијативама које доприносе развоју заједнице [5].

### 3.1 Пракса, трендови и програми

Социоекономски утицаји рударских пројеката могу бити значајни, како на позитиван тако и на негативан начин. На пример, пројекат може имати потенцијал за стварање радних места и привредни развој у локалној заједници. Такође, може довести до повећања прихода локалне заједнице кроз порезе и накнаде које се плаћају држави. Међутим, негативни утицаји могу укључивати расељавање локалног становништва, губитак традиционалних извора прихода, повећање трошкова живота и промене у социјалној структури заједнице.

Културни утицаји рударских пројеката су важни за процену друштвене прихватљивости. Пројекти рударства могу имати значајан утицај на културно наслеђе, традицију и идентитет локалне заједнице. Могуће последице укључују промене у начину живота, губитак традиционалних занимања и утицај на културне манифестације и обичаје.

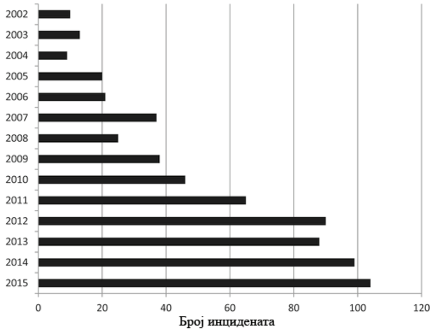
Анализа социоекономских и културних утицаја рударских пројеката је подржана релевантним изворима из светске праксе. Ова истраживања анализирају различите оквире за процену социјалних утицаја и упоређују постојеће приступе. MMSD (2002) пружа преглед одрживог развоја у рударству и важности комуникације са заинтересованим странама [5-7]. Светска банка (2019) обезбеђује информације о трендовима и могућностима одрживог рударства. International Council on Mining and Metals (ICMM) је поставио принципе одрживог развоја за рударске компаније 2003. године, априла 2018. године је лансирана глобална консултација за унапређење тих принципа. Циљ је јачање захтева у области радних права, пресељења, родне равноправности и других социјалних и еколошких питања. Ови извори прилажу разумевање фактора за анализу социоекономских и културних утицаја рударских пројеката и пружају смернице за друштвену прихватљивост.

Одрживи развој и економски допринос су кључни аспекти друштвене прихватљивости рударских пројеката. Пројекти треба да буду усмерени ка одрживом развоју, што значи минимизирање негативних еколошких утицаја и максимизирање позитивних социоекономских утицаја. Ово може укључивати подршку локалним индустријама, малим и средњим предузећима, развој инфраструктуре, образовање и обуку локалног становништва и диверсификацију привреде.

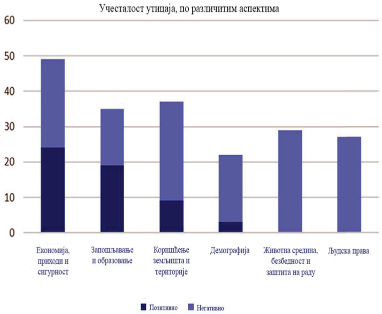
## 3.2 Конфликти

Према извештају Међународног савета за рударство и метале (ICMM, 2015), конфликти између рударских компанија и локалних заједница драматично су се повећали током протекле две деценије. Слика 1 илуструје значајан пораст броја конфликата у рударству, са 10 конфликата забележених 2002. године на чак 104 конфликта 2015. године и у сталном су порасту. Ови бројеви јасно указују на све већи број инцидената који се јављају у вези са рударским пројектима и неслагањем интереса између компанија и локалних заједница [9,13].

Рударске компаније постају свесне негативних последица које могу произаћи из сукоба са заједницама, које могу значајно утицати на све аспекте њиховог пословања (слика 2).



**Слика 1.** Конфликти у рударству (2002–2015).
Извор: ICMM (2015)

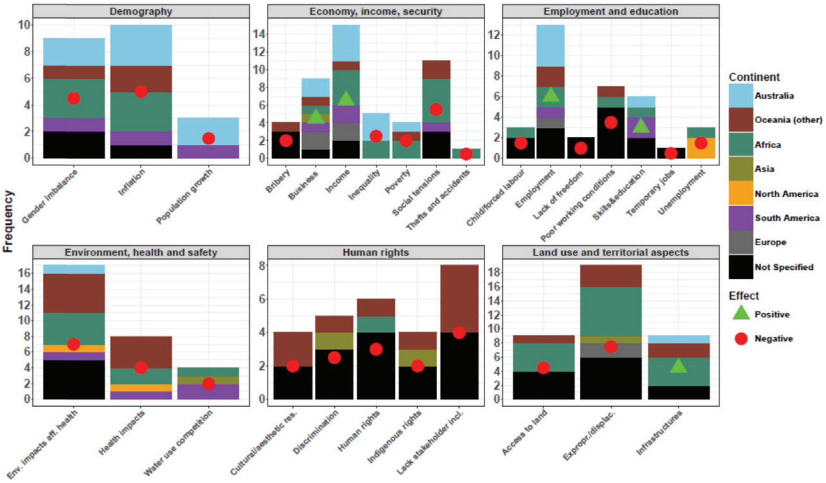


**Слика 2.** Учесталост позитивних и негативних фактора у одређеним студијама, по главним аспектима утицаја).
Извор: Resources Policy 57 (2018)

Ови конфликти често проистичу из неспојивих циљева између различитих актера, где рударске компаније теже повећању прихода и остваривању профитабилности, док локалне заједнице често стреме очувању природних ресурса и заштити културног наслеђа [10]9. Рударске активности неретко доводе до озбиљних еколошких проблема. Студије су показале да могу имати негативан утицај на животну средину, укључујући контаминацију изворишта воде, уништавање биодиверзитета и промену пејзажа [10, 11].

Осим еколошких проблема, рударство такође може имати озбиљне социоекономске последице. Заједнице ретко имају користи од рударских операција, док се суочавају са проблемима који проистичу из рударства. Негативни утицај на пољопривредне активности, социјалну кохезију, културна веровања и неравномерну расподелу прихода и ризика само су неки од проблема који се јављају у вези са рударским пројектима [12].

На слици 3 су приказани илустративни резултати из студија који показују појаву утицаја и њену географску расподелу.



**Слика 3.** Илустративни резултати који показују појаву утицаја и географску расподелу, у одабраним студијама). Извор: Resources Policy 57 (2018) 98–111

Важно је напоменути да рударске компаније обично остварују већи део економских користи од својих операција, док локалне заједнице ретко имају правичну добит од рударских активности. У многим случајевима, заједнице чак трпе негативне последице узроковане рударством. На пример, вода је кључни ресурс за рударске операције, али истовремено и ресурс који је од виталног значаја за локалне заједнице. Загађење воде и исцрпљивање водних ресурса честе су последице рударских активности [13-16]. Ови проблеми директно утичу на локално становништво и могу имати озбиљан утицај на квалитет живота и здравље заједнице.

Разумевање конфликата и изазова који проистичу из рударских пројеката је од суштинске важности за постизање друштвене прихватљивости ових пројеката. Потребно је успоставити ефикасне механизме за дијалог и сарадњу између свих заинтересованих страна како би се постигао одржив развој и смањили негативни утицаји рударства на животну средину, заједнице и друштво у целини.

## 4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

У светској пракси постоје бројни примери и решења која су се показала успешним у постизању друштвене прихватљивости рударских пројеката. Кључни фактор у успешној имплементацији пројеката је транспарентна комуникација између рударске компаније, локалне заједнице и осталих заинтересованих страна. Партнерства са локалним заједницама такође играју кључну улогу у постизању друштвене прихватљивости рударских пројеката, пружајући прилику за заједничко обликовање пројектних активности и усмеравање инвестиција и ресурса ка иницијативама које доприносе развоју заједнице [17].

Одрживи развој и економски допринос представљају суштинске аспекте друштвено прихватљивих рударских пројеката. Успех таквих пројеката зависи од њихове способности да постигну одрживи развој, минимизирајући негативне еколошке утицаје и истовремено максимизирајући позитивне социоекономске утицаје. Извор Serbia Energy Business Magazine (2020) пружа преглед ситуације у Србији и изазова и користи које се јављају у рударским пројектима [18]. У последњих неколико година, локалне заједнице у Србији се суочавају са притиском интересних група за прихватање рударских пројеката. Недостатак информација о утицајима пројеката на животну средину и јавно здравље отежава грађанима да донесу одлуке о будућности. Ово ствара отпор према реализацији таквих пројеката.

У Србији, два најзначајнија рударска пројекта су експлоатација бакра у Бору и Мајданпеку и експлоатација лигнита у Колубарском басену. Ипак, и код ових пројеката постоје проблеми. Пројекти експлоатације бакра суочавају се са бројним изазовима у вези са управљањем отпадним водама, заштитом животне средине и безбедношћу и заштитом на раду. Ово упућује на потребу за адекватним управљањем еколошким утицајима и усаглашавањем са стандардима одрживости и безбедности. Доминантни изазови у Колубарском лигнитном басену, који је највећи произвођач угља у Србији, укључују sукобе између рударства и пољопривреде, премештање становништва, утицај на инфраструктуру, водопривредне и друге објекте који се налазе на подручју рударских радова.

Да би се постигла друштвена прихватљивост рударских пројеката, неопходан је холистички приступ који укључује све релевантне аспекте, укључујући економију, животну средину, културу и заједницу. Усвајање најбољих светских пракси, прилагођених локалном контексту, може играти кључну улогу у остваривању друштвене прихватљивости рударских пројеката, како у Србији, тако и у потенцијалним пројектима експлоатације литијума, злата и других значајних сировина за Србију.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Национална исплативост и ефикасно управљање рударским пројектима постају све важнији. Циљ је остварити равнотежу између економског развоја, друштвеног благостања и очувања животне средине. Анализа социоекономских и културних утицаја рударских пројеката омогућава разумевање последица на локалну заједницу. Ти подаци су кључни при доношењу одлука о пројектима и развоју мера за ублажавање негативних утицаја и повећање друштвене прихватљивости.

Национална исплативост рударских пројеката обухвата економске, еколошке и социјалне аспекте. Док се економска исплативост фокусира на профитабилност, друштвена прихватљивост наглашава благостање локалних заједница и очување културне баштине. Еколошка одрживост је такође кључна за дугорочну исплативост рударских пројеката. Укључивање свих заинтересованих страна, као што су локалне заједнице, невладине организације и власти, је важно за доношење одлука. Транспарентна комуникација, ефикасне консултације и примена одрживих рударских пракси су неопходни за побољшање друштвене прихватљивости. Даља истраживања су потребна ради прилагођавања пракси рударских пројеката захтевима националне исплативости, друштвене прихватљивости и еколошке одрживости. Праћење трендова, иницијатива и светских примера најбоље праксе је важно ради идентификације нових праваца истраживања и примене у рударској индустрији. На тај начин можемо избећи конфликте у вези с новим рударским пројектима и пратити светске трендове.

## РЕФЕРЕНЦЕ:

[1] Златановић Д., Пезо Л., Милисављевић В.: Методологија за утврђивање оцене стања и перспектива рудника, II Симпозијум са међународним учешћем „Рударсво 2011“, Врњачка Бања, Зборник радова, 1-10, 2011, ISBN 978-86-80809-61-8.

[2] Златановић Д.: Рударство између националних и приватних интереса, II Симпозијум са међународним учешћем „Рударство 2011“, Врњачка Бања, Зборник радова, 138-148, 2011, ISBN 978-86-80809-61-8.

[3] Zlatanović D., Milisavljević V., Tanasijević M.: Assumptions for definition of mine assessment procedure with hybrid model, Mining and Metallurgy Engineering Bor, 49-58, 4/2013, ISSN 2334-8836.

[4] Златановић Д., Пезо Л., Милисављевић В. Одређивање степена међузависности рудника и локалних заједница, Рударско-геолошки факултет, Подземни радови, 83-92, 16/2008, YU ISSN 0354-2904.

[5] Lucia Mancini, Serenella Sala. Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks, Resources Policy, Vol.57, August 2018, Pages 98-111.

[6] Gavin Hilson, Barbara Murck, Sustainable development in the mining industry: clarifying the corporate perspective, Resources Policy, Volume 26, Issue 4, December 2000, Pages 227-238.

[7] Mining, Minerals, and Sustainable Development (MMSD) Project. (2002). Breaking new ground: Mining, minerals, and sustainable development. Earthscan.

[8] ICMM. (2015). Community conflict prevention and resolution in the mining industry. International Council on Mining and Metals.

[9] Banerjee, S., Singh, R. B., & Srivastava, P. (2021). Stakeholder Management in Sustainable Mining. Springer.

[10] Franks, D. M. (2009). Social impact assessment. In K. Guevara, J. van der Hoek, & R. Krueger (Eds.), Environmental and social impact assessment (Vol. 1, pp. 189-222). Springer.

[11] Kemp, D., Owen, J. R., & Collins, N. (2013). Social impact assessment: A methodological framework and case study evaluations. In D. Petts (Ed.), Handbook of environmental impact assessment (pp. 417-446). Wiley.

[12] Chang Hoon Oh, Jiyoung Shin, Shuna Shu Ham Ho, Conflicts between mining companies and communities: Institutional environments and conflict resolution approaches, Business Ethics, the Environment and Responsibility (BEER), 2023, https://doi.org/10.1111/beer.12522

[13] Andrews, T., Elizalde, B., Le Billon, P., Oh, C. H., Reyes, D., & Thomson, I. (2017). The rise in conflict associated with mining operations: What lies beneath? Canadian international resource development institute (CIRDI).

[14] Hilson, G. (2000). The socio-economic impacts of artisanal and small-scale mining in developing countries. Natural Resources Forum, 24(1), 3-13.

[15] Moffat, K., & Zhang, J. (2014). Environmental management in mega mining projects. Routledge.

[16] Oh, J., Park, J., Lee, M., & Seo, Y. (2020). A study on the policy effectiveness of mining damage restoration. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology, 23(5), 49-59.

[17] Lukas Rüttinger, Christine Scholl. (2017) Approaches to reducing negative environmental and social impacts in the production of metal raw materials, Environmental Research of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety, German Environment Agency, Project No. (FKZ) 3712 94 315.

[18] Marija Živković, Analysis of conflicts in the use of space in mining Basin “Kolubara”, J. Geogr. Inst. Cvijic. 62(3) (123-136), UDC: 911.2:502.75(497.11).

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА СИСТЕМА ДАЉИНСКЕ ДЕТЕКЦИЈЕ У МОДЕЛОВАЊУ ГЕОПРОСТОРНИХ ПОДАТАКА – ОД ДИГИТАЛНИХ МОДЕЛА ТЕРЕНА ДО МОДЕЛА ВИРТУЕЛНЕ РЕАЛНОСТИ И ДИГИТАЛНИХ БЛИЗАНАЦА

# REMOTE SENSING APPLICATION FOR GEOSPATIAL DATA MODELLING – FROM DIGITAL TERRAIN MODELS TO VIRTUAL REALITY MODELS AND DIGITAL TWINS

ИВАН ПОТИЋ[1], БОРИС ВАКАЊАЦ[2], ЉИЉАНА МИХАЈЛОВИЋ[3], САША МИР. СТАНКОВИЋ[4],
СТЕФАН ПЕТРОВИЋ[5]

[1]Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, ivan.potic@vs.rs
[2]Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, boris.vakanjac@vs.rs
[3]Географски факултет, Београд, ljiljana.mihajlovic@gef.bg.ac.rs
[4]Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, sasa02@gmail.com
[5]Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, s.petrovic293@gmail.com

---

***Резиме:*** *Овај научни рад истражује примену система даљинске детекције у производњи и анализи геопросторних података, са фокусом на Дигиталне моделе геопростора (ДМГ) у које спадају дигитални модели терена и меш модели (модели виртуелне реалности) и његову улогу у функцији дигиталног близанца. Уводни део пружа преглед технологије и њене основне примене у снимању. Затим се разматрају производи који настају из облака тачака, са фокусом на њихове карактеристике, предности и могућности. На крају, описују се различите примене ДМГ-а у геопросторној анализи, као и њихов значај у областима, као што су грађевинарство, урбанистичко планирање, природне науке, систем одбране и виртуелна реалност. Овај рад представља значајан прилог за боље разумевање и примену технологије даљинске детекције у савременом геопросторном окружењу.*

***Кључне речи:*** *лидар, фотограметрија, облак тачака, дигитални модел тла, дигитални модел висина, дигитални модел површи, геопросторни дигитални близанци.*

***Abstract:*** *This research explores the application of Remote Sensing systems in the production and analysis of geospatial data, with a focus on Digital Geospatial Models (DGMs) containing Digital Terrain Models and Mesh (Virtual Reality) models as a part of Digital Tween model. The introduction overviews Remote Sensing technology and its fundamental practices in capturing geospatial data. Subsequently, the derived products from captured data are discussed, emphasizing their characteristics, advantages, and possibilities. Furthermore, the various applications of DGMs in geospatial analysis are described, highlighting their significance in civil engineering, urban planning, natural sciences, defence and virtual reality. This paper is a valuable contribution in enhancing, understanding and utilization of Remote Sensing technology in the contemporary geospatial environment.*

***Keywords:*** *LiDAR, photogrammetry, point cloud, digital ground model, digital elevation model, digital surface model, geospatial digital tweens.*

---

## 1. УВОД

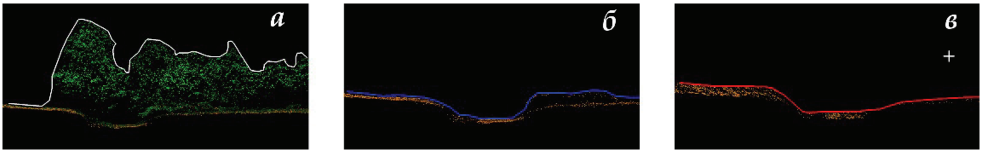
У савременој картографији, геодезији и геопросторној анализи, снимање лидар и фотограметријским системима постало је широко коришћена метода, зато што брзо може прикупити тродимензионалне податке са великих површина са високом хоризонталном резолуцијом и високом вертикалном тачношћу. Из облака тачака, који представља производ снимања лидар технологијом и производ креиран из фотографија са великим преклопом (фотограметријски облак тачака), могу се креирати различити производи који доприносе бољем разумевању и анализи геопросторних феномена. Уклапањем ових података са осталим геопросторним информацијама и истраживачким резултатима добијеним помоћу различитих техника, ствара се слика геопростора која најбоље приказује географске и топографске аспекте геопростора. Прикупљање података техником ласерског скенирања са доступних платформи захтева пажљиво планирање које укључује карактеристике сензора и перформансе носача сензора [1], што је такође неопходно и код прикупљања података фотограметријском методом. Лидар је техника која користи ласерску технологију за мерење рефлексије светлосних тачака, док фотограметрија подразумева коришћење серије дигиталних фотографија које се преклапају, заједно са припадајућим подацима о локацији. Обе методе прикупљају просторне податке, али за фотограметрију је потребно мање стручности за постпроцесирање, док су резултати реалистичнији. Главна разлика између фотограметрије и лидара огледа се у њиховим карактеристикама. Лидар пружа прецизне излазне податке (које могу бити кодиране бојама) који могу проникнути кроз густу вегетацију, док фотограметрија нуди различите излазне податке који пружају реалистичне и тачне перспективе других површина [2].

## 2. ВРСТЕ ПРОИЗВОДА

Након извршеног снимања геопростора и у зависности од коришћене технологије, доступна су два типа облака тачака: лидар облак тачака настао иницијалном обрадом из лидар сензора и фотограметријски облак тачака настао обрадом фотографија које имају веома велики преклоп.

## 3. Дигитални модели терена

Од иницијалних облака тачака могуће је креирати неколико различитих производа који се сврставају под заједнички назив – Дигитални Модел Терена (ДМТ), у зависности од нивоа обраде, и меш модел који представља основни модел виртуелне реалности (Слика 1). Овом приликом ће бити укратко представљени типови модела и приказане разлике међу њима које су веома мале. Треба напоменути да се у различитим земљама ови појмови могу другачије називати и да се називи производа доста преплићу.



**Слика 1:** Типови класа облака тачака за креирање различитих врста дигиталних модела терена: а) ДМП (2.1.3.), б) ДМВ (2.1.2.), в) ДМТ (2.1.1.)

### 3.1.1. Дигитални модел тла

Дигитални модел тла представља детаљну и прецизну тродимензионалну репрезентацију висина геопростора која се користи у различитим областима за анализу, моделирање и приказ геопросторних података. ДМТ се креира из класификованог облака тачака. Први корак је класификовање најнижих тачака у класу „тло“ (енг. Ground). Након тога се преостале тачке класификују у одговарајуће класе и исправљају неправилности које настају у процесу. Од тачака које представљају тло се креира модел неправилних троуглова на основу кога се уочавају недостаци. Затим се приступа ручном или полуаутоматском креирању преломних линија терена[1] које исправљају уочене недостатке. Након креирања тродимензионалних преломних линија[1], заједно са облаком тачака се интерполира дигитални модел тла у виду правилног грида жељене/могуће просторне резолуције.

---

[1] Преломне линије терена користе се да представе нагло мењање површина терена, као што су литице, ивице пута, ивичњаци, канали или друге значајне карактеристике. Оне означавају места где се терен нагло мења у

### 3.1.2. Дигитални модел висина

Код дигиталних модела висина се не израђују преломне линије, али се могу креирати структурне линије терена. Добијени облак тачака се заједно са креираним тродимензионалним линијама интерполира у правилан грид жељене просторне резолуције или триангулисану ирегуларну мрежу. Класификација је мање захтевна у временском погледу у односу на начин класификовања облака тачака за израду ДМТ.

### 3.1.3. Дигитални модел површи

Код дигиталних модела површи се снимљене тачке (без класификације) интерполују. Уклањају се само велике неправилности у облаку тачака, као што су тачке на великим дубинама или висинама. Добијени производ представља све геопросторне појаве, као што су вегетација, далеководи, објекти и друго.

## **3.2. *Меш модели и дигитални близанац***

Напредак у 3Д ГИС технологијама, као што су паметни градови и виртуелни геопростор (енг. Virtual Geographic Environment - VGE) допринео је све чешћем коришћењу реалистичних 3Д географских информација. То је постигнуто захваљујући убрзаном развоју лидар технологија и фотограметрије са авио платформи које могу да сниме велике просторе са којих се могу креирати 3Д сцене [3].

Меш је геометријска структура која се користи за представљање и моделовање геопросторних облика и површина у тродимензионалном простору (Слика 2). Састоји се од мреже конектованих тачака, познатих као темена или врхови, и спољних ивица које их спајају. Ова структура омогућава представљање комплексних облика и површина у тродимензионалном геопростору и она игра битну улогу у анализи, визуелизацији и примени геопросторних података [3].

**Слика 2:** 3Д (меш) модел цркве добијен фотограметријском методом

Фотограметрија коришћењем косих снимака пружа прикладно решење које истовремено може фиксирати координате и текстурне информације о крововима зграда и фасадама у условима ограничене видљивости. Зато су 3Д мреже постале најчешћи начин за представљање реалистичних географских сцена [4].

Појам "дигитални близанац" (енг. digital twin) у области геопросторних података и моделовања простора се односи на виртуелне реплике физичког окружења, објеката или система. Они се користе за симулацију и анализу стварног света, што омогућава боље разумевање, предвиђање и управљање стварним објектима и процесима [5].

Дигитални близанци комбинују податке сензора, интернета ствари (енг. IoT), геопросторних података и других извора информација да би креирали виртуелни модел

---

нагибу или висини. Преломне линије помажу у прецизном дефинисању облика терена и од кључне су важности за тачно приказивање карактеристика терена које не могу бити потпуно приказане само на основу облака тачака.

реалног света. Овај модел се може користити за симулацију и тестирање различитих сценарија, за претварање података у корисне информације, као и за доношење бољих одлука у вези са управљањем и планирањем геопросторних окружења [6].

## 4. ОБЛАСТИ КОРИШЋЕЊА ДИГИТАЛНИХ ГЕОПРОСТОРНИХ МОДЕЛА

Уопштено говорећи, дигитални геопросторни модели креирани из обрађених облака тачака имају широку примену у различитим областима и индустријама у којима се њихово коришћење веома често прожима.

### 4.1. *Деривати ДМТ*

Географија и картографија: користе се у изради прецизних и детаљних карата, како физичких тако и топографских. Омогућава прецизан приказ форме рељефа и других географских карактеристика, што је од великог значаја у истраживању и анализи географских феномена.

Грађевинарство и урбанизам: користе се у планирању и пројектовању грађевинских објеката, као што су путеви, мостови, зграде и инфраструктурни системи. Омогућава детаљан преглед терена и моделирање различитих сценарија за пројектовање и анализу. Такође се користе за приказ усека и насипа, за приказ пејзажа, за приказ утицаја грађевинских пројеката на животну средину и друго.

Геологија и рударство: пружају важне информације о геолошким структурама, тако да се користи у истраживању рудних налазишта, истраживању геолошких процеса и проучавању земљиног коре. Такође се користи за моделирање и преглед геолошких формација, као и праћење стања површинских копова.

Екологија и природне науке: омогућавају прецизно картирање и преглед теренских карактеристика истраживаних области, као што су шуме, реке, планине и природни екосистеми. Ово помаже у истраживању биолошке разноврсности, праћењу промена у природним становиштима и управљању природним ресурсима [2].

Геоморфологија и географске науке: ДМТ је неопходан алат за изучавање и анализу рељефа, формација и процеса у геоморфологији и географији. Омогућава прецизан приказ и анализу висинских и морфолошких карактеристика терена [7].

У систему одбране и војсци користе се у разним симулацијама, нпр. код обуке пилота. За војне потребе ДМТ могу служити за одређивање видљивости са дате тачке, док угао нагиба користи за одређивање најбоље руте за пролаз јединица, док неки ракетни системи користе податке ДТМ за навигацију и управљање ракетама [7-10].

### 4.2. *3Д модели геопростора*

Филмска и забавна индустрија: 3Д модели се користе у креирању визуелних ефеката, анимација и виртуелних светова за филмове, видео игре, симулације и друге забавне садржаје. Архитектура и грађевинарство: 3Д модели омогућавају архитектима, дизајнерима ентеријера и урбанистима да визуализују и експериментишу са просторима пре него што се започне са изградњом. Такође се користе за презентације пројеката и виртуелне туре кроз објекте.

Просторно планирање: 3Д модели се користе за визуализацију и анализу урбаних окружења, укључујући просторно планирање градова, пројектовање инфраструктуре и оптимизацију саобраћајних мрежа. Креирање виртуелних тура и симулација за урбанисте, стручњаке за озелењавање и градитеље, како би се препознали и решили потенцијални проблеми у урбаним окружењима.

Геодезија: 3Д модели користе се за прецизно мапирање терена и стварање детаљних ДМТ. Примена 3Д модела у дигиталним геодетским системима за рачунање и анализу геопросторних података и представљање геодетских мерења.

Географија и сродне дисциплине: 3Д модели користе се за прецизно представљање географских ентитета, као што су рељеф, хидрографија, насеља и транспортне мреже. Примена 3Д модела за анализу просторних података и визуелизацију географских процеса, као што су климатске промене, урбани развој и природне катастрофе.

Заштита животне средине: Коришћење 3Д модела за прецизно картирање екосистема и праћење промена у животној средини. Креирање виртуелних симулација за обуку заштитних служби и симулација природних катастрофа ради ефикаснијег планирања и реаговања.

Шумарство: Могућност коришћења облака тачака у шумарству је веома велика. Производи се могу користити у истраживању и инвентаризацији шума, управљању шумским ресурсима, праћењу процеса обнављања шуме, праћењу биолошке разноврсности и друго.

Симулације за потребе саобраћаја: 3Д модели користе се за симулацију и оптимизацију саобраћајних протока и превозних мрежа. Виртуелне симулације за тестирање нових саобраћајних решења и претпројектних идеја, укључујући урбани транспорт, авионски и железнички саобраћај [2].

Симулације за потребе војске/одбране: Креирање виртуелних симулација за обуку војних јединица и стратешко планирање. Израда 3Д модела терена и објеката за прецизно представљање и анализу ратних сценарија и операција [8].

## 5. ЗАКЉУЧАК

У савременој картографији и геопросторној анализи, снимање лидар и фотограметријским системима представља широко коришћену методу за прикупљање тродимензионалних података о геопростору. Ова метода је посебно корисна, јер омогућава брзо прикупљање података на великим површинама са високом резолуцијом и тачношћу. Облак тачака, као производ снимања лидаром или фотограметријом, пружа могућност за креирање различитих производа који доприносе разумевању и анализи геопросторних феномена.

Дигитални геопросторни модели који су створени из обрађених облака тачака имају широку примену у различитим областима и индустријама. Неке од главних области коришћења укључују географију и картографију, грађевинарство и урбанизам, геологију и рударство, екологију и природне науке, геоморфологију, као и системе одбране и војску. Дигитални геопросторни модели су такође корисни у филмској и забавној индустрији, архитектури и грађевинарству, просторном планирању, геодезији, географији и различитим другим областима.

Снимање лидаром и фотограметријским системима представља важан начин прикупљања тродимензионалних података о геопростору. Облаци тачака, који су производ ових метода, могу се користити за креирање различитих дигиталних геопросторних модела. Ови модели имају широку примену у различитим индустријама и областима, што омогућава боље разумевање и анализу геопросторних феномена. Стални напредак у овим технологијама отвара нове могућности за примену дигиталних геопросторних модела и непрестано унапређује различите области које се ослањају на ове технике и њихове податке.

*Напомена: Овај рад је написан у оквиру Пројекта 1.23/2023 МО и ВС за 2023. годину.*

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Đorđević, D.; Potić, I.; Milonjić, Z.; Basarić, M.; Bakrač, S. Flight Plan Preparation for Point Cloud Data Collection Utilizing the Laser Scanner ALS80HP. In 10th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE OTEH 2022 ON DEFENSIVE TECHNOLOGIES; 2022.

[2] Gabriel Torres. Drone photogrammetry vs. LIDAR: what sensor to choose for a given application. Wingtra. https://wingtra.com/drone-photogrammetry-vs-lidar/ (accessed 2023-05-22).

[3] Liu, W.; Zang, Y.; Xiong, Z.; Bian, X.; Wen, C.; Lu, X.; Wang, C.; Marcato, J.; Gonçalves,

[4] W. N.; Li, J. 3D Building Model Generation from MLS Point Cloud and 3D Mesh Using Multi-Source Data Fusion. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Elsevier B.V. February 1, 2023. https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103171.

[5] Jaillot, V.; Servigne, S.; Gesquière, G. Delivering Time-Evolving 3D City Models for Web Visualization. Int. J. Geogr. Inf. Sci. 2020, 34 (10). https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1749637.

[6] SpaceIQ Team. What are Digital Twins?. SpaceIQ.

[7] Clifton, D. Geospatial Digital Twin Explained. SpaceIQ. https://spaceiq.com/blog/geospatial-digital-twin/ (accessed 2023-05-17).

[8] Gigović, L. Digital Models of Heights and Military Application for Terrain Analysis.

[9] Vojnoteh. Glas. 2014, 58 (2), 165–178. https://doi.org/10.5937/vojtehg1002165g.

[10] Костић, М. Дигитални Модел Терена и Његова Примена За Потребе Оружаних Снага.

[11] Зборник радова Војногеографског института 2009, No. 13, 71–77.

[12] Borisov, M.; Petrović, V. M.; Vulić, M. Vizuelizacija 3D Modela Geopodataka i Njihova Primjena. Geod. Glas. 2014, 48.

[13] Sekulović, D.; Regodić, M.; Jakovljević, G. PRIMENA GIS TEHNOLOGIJE U IZRADI DIGITALNIH MODELA TERENA ZA VOJNE POTREBE. In 42nd International

[14] Symposium on Operations Research PROCEEDINGS; Mladenović, N., Urošević, D., Stanimirović, Z., Eds.; http://www.symopis2023.mod.gov.rs/download/istorijat/XLII_Simpozijum_o_operacionim_istrazivanjima.pdf: Silver Lake Resort, Serbia, 2015; pp 123–126.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПОВЕЋАЊЕ ПРЕЦИЗНОСТИ GPS ПОЗИЦИОНИРАЊА У УРБАНОЈ СРЕДИНИ ПРИМЕНОМ МАШИНСКОГ УЧЕЊА

# INCREASING THE ACCURACY OF GPS POSITIONING IN THE URBAN ENVIRONMENT USING MACHINE LEARNING

ИВАНА СТЕФАНОВИЋ[1], АНА УЗЕЛАЦ[2], СЛАЂАНА ЈАНКОВИЋ[2], СНЕЖАНА МЛАДЕНОВИЋ[2]

[1] Академија техничко-уметничких струковних студија Београд – Одсек Висока школа електротехнике и рачунарства, Београд, ivanas@viser.edu.rs
[2] Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, Београд, ana.uzelac@sf.bg.ac.rs, s.jankovic@sf.bg.ac.rs, snezanam@sf.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *У оквиру овог рада извршено је истраживање са циљем да се утврди да ли се подаци о елевацији и азимуту сателита и односу сигнал/шум могу искористи у својој изворној форми за повећање прецизности позиционирања применом машинског учења. За потребе истраживања извршен је низ мерења у урбаној средини, у условима уличног кањона. Прикупљени подаци су искоришћени за обучавање различитих модела машинског учења ради предикције грешке растојања и грешке смера. Резултати предикције најбољег модела искоришћени су за корекције и прорачун нових координата ради валидације модела. Грешка позиционирања значајно је смањена применом креираног модела.*

***Кључне речи:*** *GPS, позиционирање, грешка растојања, грешка смера, машинско учење.*

***Abstract:*** *The objective of this study was to investigate the potencial utilization of satellite elevation, azimuth, and signal/noise ratio data in their original form in order to improve positioning accuracy by using machine learning. A series of measurements were taken in an urban environment under street canyon settings for data generation. The gathered data was utilized to train various machine learning models to forecast the error's direction and distance. The prediction results of the best model were used for corrections and the calculation of new coordinates for model validation. By using the developed model, the positioning error is considerably reduced.*

***Keywords:*** *GPS, positioning, distance error, angle error, machine learning.*

---

## 1. УВОД

GNSS (*Global Navigation Satellite System*) су самостални системи за позиционирање који омогућују глобалну покривеност и високу тачност позиционирања. Тачност позиционирања код GNSS зависи од великог броја фактора, попут: атмосферских услова, квалитета пријемника, интерференције сигнала, броја видљивих сателита, њихове просторне расподеле и сл. [1]. У урбаној средини грешка позиционирања може да варира од неколико метара до неколико десетина метара, због ефекта пропагације по вишеструким путањама [1]. Проблем је нарочито изражен у условима уличног кањона, када је GNSS пријемник окружен високим зградама и другим објектима који изазивају рефлексију сигнала.

Развој машинског учења је знатно утицао на начине решавања проблема у навигацији, као и могућностима за њихову превенцију и решавање [2]. Применом машинског учења развијен је велики број модела за повећање прецизности позиционирања, који узимају у обзир различите факторе попут временских услова [3], LOS (line-of-sight) и NLOS (non-line-of-sight) путање пропагације сигнала [4, 5], GDOP (Geometric Dilution of Precision) коефицијента [6] и др. Код великог броја развијених модела GNSS подаци се често комбинују са подацима из других извора, чиме се повећава време аквизиције података, као и сам обим података. Такође, модели често укључују и комплексне прорачуне који су захтевни по питању меморијског простора и времена извршења.

У оквиру овог рада извршено је истраживање са циљем да се утврди да ли се помоћу Big Data технологије, машинског учења и изворних података о елевацији и азимуту појединачних сателита, као и односу сигнал/шум, може повећати тачност позиционирања у урбаној средини у условима уличног кањона. Извор података, преглед и опис атрибута који су коришћени за предиктивну анализу приказани су у другој секцији рада. У трећој секцији описана је методологија истраживања. Резултати истраживања и анализа резултата приказани су у четвртој секцији. На крају рада, дати су најзначајнији закључци и могући правци даљег истраживања.

## 2. ИЗВОР ПОДАТАКА

Као извор података коришћена је апликација GNSS logger. Апликација је развијена од стране компаније Google и може се бесплатно преузети са Google Play сервиса. GNSS logger апликација коришћена је за мерење, процесирање и анализу сигнала у великом броју научно истраживачких радова. Према [7], у периоду од 2016. до 2020. године, објављено је скоро 6000 научно-исраживачких радова у којима су коришћени GNSS APIs подаци. Током Kaggle такмичења Google Smartphone Decimeter Challenge, одржаног пре две године, коришћен је скуп података који садржи GNSS logger резултате мерења [8]. GNSS logger апликација омогућава прикупљање три различита скупа података о:

- локацији корисника и методи коришћеној приликом позиционирања,
- сателитима и
- GNSS пријемнику и временским параметрима.

У оквиру овог рада коришћени су поједини подаци из првог и другог скупа података. У Табели 1 дат је преглед атрибута првог скупа података, а приказане су и вредности једне инстанце. Поред наведених атрибута у оквиру првог скупа података доступне су и информације о надморској висини, брзини и смеру кретања GNSS пријемника које нису коришћене у оквиру овог истраживања.

**Табела 1:** Преглед атрибута првог скупа података који су коришћени у оквиру истраживања

| Fix | Provider | LatitudeDegrees | LongitudeDegrees | UnixTimeMillis |
|---|---|---|---|---|
| Fix | GPS | 44.7679152025 | 20.4798324798 | 1682520482000 |

У оквиру истраживања спроведеног у овом раду разматрано је 2D позиционирање, при чему је провајдер сервиса GPS (Global Positioning System). Прва два атрибута из Табеле 1 коришћена су за филтрирање података. Подаци о географској ширини и дужини процењене позиције корисника коришћени су за прорачун sгрешке приликом позиционирања. За прорачун грешке растојања у метрима, коришћена је Хаверсине формула (1) [9]:

$$d = 2 \cdot R \cdot arcsin\sqrt{sin^2\left(\frac{\varphi_1-\varphi_2}{2}\right) + cos\varphi_1 \cdot cos\left(\varphi_2 \cdot sin^2\left(\frac{\lambda_1-\lambda_2}{2}\right)\right)} = 2 \cdot R \cdot arcsin\sqrt{a} \tag{1}$$

где је:

$d$ – растојање између две тачке на елипсоиди;
$R$ – полупречник Земље који износи 6371km;
$\varphi_1$ – измерена географска ширина тренутне позиције корисника;
$\varphi_2$ – тачна географска ширина позиције корисника;
$\lambda_1$ – измерена географска дужина тренутне позиције корисника;
$\lambda_2$ – тачна географска дужина позиције корисника;
$a$ – израчуната вредност која се користи у даљем одређивању удаљености.

За прорачун грешке смера, изражене у степенима, коришћена је формула (2) [9], у којој функција *atan2* узима у обзир квадрант и даје једнозначан резултат.

$$c = 2 \cdot atan2\left(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}\right) \tag{2}$$

У Табели 2, дат је преглед атрибута другог скупа података. Део атрибута, попут ознаке сателита и фреквенције носиоца, је уклоњен из другог скупа података.

**Табела 2:** Преглед атрибута другог скупа података који су коришћени у оквиру истраживања

| UnixTimeMillis | ConstellationType | Cn0DbHz | AzimuthDegrees | ElevationDegrees | UsedInFix |
|---|---|---|---|---|---|
| 1682520482000 | 1 | 39.00 | 306.1036 | 48.871147 | 1 |

Атрибути ConstellationType и UsedInFix коришћени су за филтрирање података приликом припреме коначног скупа података, како би се издвојили искључиво подаци о GPS сателитима који су коришћени приликом позиционирања. Атрибут ConstellationType може имати вредности 1, 2, 3, 4, 5 и 6, при чему вредност 1 означава GPS навигациони систем. Атрибут UsedInFix има вредност 1 уколико је сателит коришћен приликом позиционирања, односно 0 уколико није коришћен. Подаци о односу сигнал/шум, елевацији и азимуту су коришћени приликом предикције циљних променљивих. Подаци о елевацији и азимуту сателита се ретко када користе директно у својој изворној форми за повећање прецизности позиционирања. Положај сателита у односу на GNSS пријемник одређује се помоћу азимута и елевације. Азимут представља хоризонтално угаоно растојање од севера до сателита у правцу казаљке на сату, док елевација представља вертикално угаоно растојање од хоризонта до сателита. Могуће вредности азимута налазе се у опсегу од 0º до 360º, а елевације од 0º до 90º. Вредност атрибута однос сигнал/шум налази се у опсегу од 9B/Hz до 49dB/Hz. Потребно је нагласити да једној инстанци из првог скупа података одговара већи број инстанци из другог скупа, између 50 и 60, зависно од броја видљивих сателита у тренутку када је извршено мерење. Атрибут UnixTimeMillis коришћен је за спајање података из првог и другог скупа података у јединствени скуп.

## 3. МЕТОДОЛОГИЈА

У оквиру овог рада извршено је истраживање у оквиру којег су коришћени подаци о односу сигнал/шум, азимуту и елевацији сателита, у својој изворној форми, за предикцију грешке растојања у метрима и грешке смера у степенима. Циљ је утврдити који скуп података је најпогоднији за предикцију циљних променљивих и у којој мери би предикција утицала на тачност позиционирања. Истраживање је обухватало следеће фазе:

- мерење и прикупљање података,
- припрема података за анализу и процес машинског учења,
- обучавање различитих модела машинског учења са различитим скуповима атрибута,
- валидација и поређење обучених модела,
- избор најбољег модела и скупа атрибута за предикцију циљних променљивих и
- корекције позиције GNSS пријемника на основу добијених предикција.

### 3.1. Мерење и прикупљање података

Апликација GNSS logger омогућава кориснику да на свом паметном уређају врши мерења и прикупља податке током жељеног временског интервала. Током мерења, подаци се бележе са кораком минимум 1s, односно максимум 5s. Изворни формат података је текстуални, .txt формат. За потребе истраживања извршено је 20 мерења, при чеми је свако мерење трајало 60s, а подаци су бележени у интервалу од 1s. Мерења су извршена помоћу HUAWEI P30 Pro телефона, увек на истој локацији (44.768327013742585, 20.479901459014688), током временског периода од 14 дана. Овакав начин мерења одабран је како би се добиле различите констелације сателита у односу на пријемник. Мерења су вршена у урбаној средини, у условима уличног кањона са зградама висине 6, односно 7 спратова. У оваквој средини очекује се пропагација по вишеструким путањама, као и различита одступања приликом позиционирања, како по питању растојања, тако и по питању смера.

### 3.2. Припрема података за анализу

Припрема података обухватала је спајање .txt фајлова у јединствени .txt фајл у оквиру кога су обједињени резултати појединачних мерења. Просечна величина .txt фајла износи 775KB, при чему сваки .txt документ има између 5000 и 6000 записа. Пре спајања, појединачним .txt датотекама избрисано је заглавље, као и резултати првог мерења, код којих није забележено време мерења. Величина јединствене .txt датотеке након спајања износи 15MB. Припрема и анализа података извршена је у Google Colab [10] окружењу у програмском језику Python. Креирана су два скупа података.

У оквиру првог скупа података издвојени су подаци о географској ширини и дужини процењене позиције корисника, као и подаци о времену када је извршено мерење. Издвојени су искључиво подаци код којих је позиционирање извршено од стране GPS система. На основу стварне позиције корисника, коришћењем једначина (1) и (2), одређена је грешка позиционирања у метрима и степенима, која одговара циљним променљивима DistanceError и AngleError. Пре предиктивне анализе извршена је визуелизација циљних променљивих. Просечна грешка растојања износи 18.87m. При томе, минимална грешка износи 1.46m, док максимална грешка износи 37.59m. Циљна променљива, AngleError, узима вредности из опсега од 0º до ±180º. Највећи проценат грешке смера, 75%, налази се у опсегу од -103.58º до -121.19º.

Први корак приликом креирања другог скупа података је издвајање података о сателитима и смештање у pandas [11] оквир података. Pandas оквир података садржао је записе о 51074 сателита, при чему је број атрибута 14. Број атрибута је смањен на 6, отклањањем атрибута који нису коришћени у анализи у оквиру овог рада. Затим су обрисани подаци о сателитима који нису коришћени приликом позиционирања, као и подаци о сателитима који не припадају GPS систему. Број записа је на овај начин смањен на 17553. Приликом позиционирања коришћено је између 8 и 18 сателита. Извршен је низ трансформација података ради груписања података о односу сигнал/шум, елевацији и азимуту по времену у виду једне инстанце. Након свих трансформација коначан број записа је 1145.

Креирани скупови података су затим спојени у јединствени pandas оквир на основу времена мерења. Како се приликом позиционирања користи различити број сателита, поједини атрибути креираног сета података садржали су null вредности. У највећем броју мерења је приликом позиционирања коришћено 17 сателита, тако да су из скупа података отклоњени резултати мерења код којих је приликом позиционирања коришћено више или мање од 17 сателита. Коначан скуп података који је коришћен за предиктивну анализу је димензија 712x58.

## 4. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

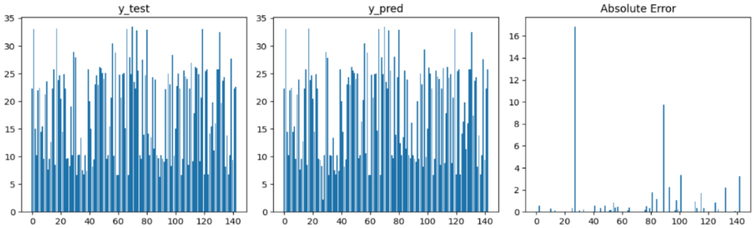
80% инстанци коначног скупа података коришћено је за тренирање 6 различитих модела машинског учења, док је преосталих 20% истанци коришћено за валидацију обучених модела. Посебно је спроведена анализа за грешку процењеног растојања и смер грешке. Анализа је спроведена одвојено са циљем да се утврди који атрибути, однос сигнал/шум, азимут или елевација, могу да се искористе за повећање тачности позиционирања у урбаној средини у условима уличног кањона.

У Табели 3 дат је преглед резултата валидације модела. За поређење обучених модела коришћен је R2 резултат, односно коефицијент детерминације. Коефицијент детерминације се често користи за оцену перформанси регресионих модела. Могуће вредности коефицијента детерминације налазе се у опсегу од 0 до 1, при чему вредности блиске 1 указују на указују на високу корелацију одабраних атрибута приликом предикције циљне променљиве [12]. Из Табеле 3 се може уочити да је највећа вредност коефицијента детерминације добијена коришћењем DecisionTree модела машинског учења и скупа атрибута са подацима о елевацији сателита. Вредност коефицијента детерминације у случају предикције грешке растојања износи 0.9541, док у случају предикције грешке смера коефицијент детерминације износи 0.9709.

**Табела 3:** Резултати валидације модела за циљне премењљиве грешка растојања и грешка смера

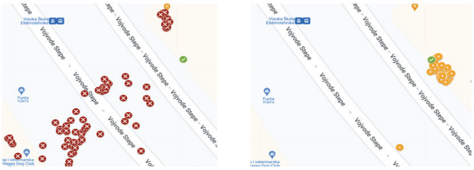
| **Модел машинског учења** | **Однос сигнал/шум** | | **Азимут** | | **Елевација** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **грешка растојања** | **грешка смера** | **грешка растојања** | **грешка смера** | **грешка растојања** | **грешка смера** |
| *LinearRegression* | 0.8285 | 0.8459 | 0.7072 | 0.9314 | 0.8677 | 0.9494 |
| *DecisionTree* | 0.8654 | 0.9579 | 0.9447 | 0.9664 | **0.9541** | **0.9709** |
| *RandomForest* | 0.9235 | 0.9355 | 0.9517 | 0.9503 | 0.9490 | 0.9555 |
| *GradientBoosting* | 0.9365 | 0.9551 | 0.9373 | 0.9667 | 0.9457 | 0.9671 |
| *Support Vector Machines* | 0.9255 | 0.5387 | 0.8698 | 0.8785 | 0.8693 | 0.8737 |
| *Bayesian Regression* | 0.8287 | 0.8453 | 0.8005 | 0.9359 | 0.8619 | 0.9467 |

Приликом валидације модела у случају предикције грешке растојања коришћена је и средња квадратна грешка, како би се лакше стекао увид о реду величине грешке. Средња квадратна грешка износи 2.94m, што указује на то да се предвиђене вредности разликују од тачних вредности просечно за 1.71m. На Слици 1 дат је графички приказ стварне грешке растојања скупа података који је коришћен за валидацију модела (прва слика), предвиђене грешке растојања (друга слика), као и њихова апсолутна разлика (трећа слика).



**Слика 1:** Стварна грешка растојања (прва слика), предвиђене вредности грешке (друга слика) и њихова разлика (трећа слика)

Резултати предикције грешке растојања и грешке смера, добијени коришћењем DecisionTree модела машинског учења, искоришћени су за корекције и прорачун нових географских координата у циљу валидације модела.



**Слика 2:** Позиције GNSS пријемника пре (слика лево) и након извршених корекција (слика десно)

На Слици 2, лево, приказано је 65 тачака, црвеном бојом, из скупа података који је коришћен за тестирање модела, а које представљају добијене позиције GNSS пријемника. Зелена тачка представља стварну позицију GNSS пријемника. На слици десно, наранџастом бојом, означене су позиције GNSS пријемника након извршених корекција. Са Слике 2 се лако може увидети значајно смањење грешке позиционирања након корекције координата. Већина тачака, тачније 64 тачке, су груписане у непосредној близини стварне локације GNSS пријемника. Може се уочити веће одступање једне тачке, што одговара апсолутној разлици грешке растојања са Слике 1.

## 5. ЗАКЉУЧАК

У оквиру овог рада извршен је низ мерења у урбаној средини у условима уличног кањона са циљем да се утврди да ли се подаци о односу сигнал/шум, азимуту и елевацији сателита могу искористити у својој изворној форми, без комлексних прорачуна, за предикцију грешке позиционирања у метрима и степенима.

Најбољи резултати предикције, у оба случаја, добијени су коришћењем података о елевацији сателита и *DecisionTree* модела машинског учења. Коефицијент детерминације од 0.95 у случају предикције грешке растојања у метрима, односно 0.97 у случају предикције грешке смера указују на то да се добијени резултати могу искористити за корекције у циљу смањења грешке позиционирања. Планирано је даље истраживање, којим ће бити обухваћени резултати мерења са више различитих локација и типова окружења.

*Напомена: Овај рад делимично је подржан од стране Министарства науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Teunissen, P. J., & Montenbruck, O. (Eds.). (2017). *Springer handbook of global navigation satellite systems* (Vol. 10). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
2. Siemuri, A., Kuusniemi, H., Elmusrati, M. S., Välisuo, P., & Shamsuzzoha, A. (2021). Machine learning utilization in gnss—use cases, challenges and future applications. *International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS)*, 1-6.
3. Osah, S., Acheampong, A. A., Fosu, C., & Dadzie, I. (2021). Deep learning model for predicting daily IGS zenith tropospheric delays in West Africa using TensorFlow and Keras. Advances in Space Research, 68(3), 1243-1262.
4. Sun, R., Wang, G., Cheng, Q., Fu, L., Chiang, K. W., Hsu, L. T., & Ochieng, W. Y. (2020). *Improving GPS code phase positioning accuracy in urban environments using machine learning*. IEEE Internet of Things Journal, 8(8), 7065-7078.
5. Xu, H., Angrisano, A., Gaglione, S., & Hsu, L. T. (2020). *Machine learning based LOS/NLOS classifier and robust estimator for GNSS shadow matching*. Satellite Navigation, 1(1), 1-12.
6. Refan, M. H., & Dameshghi, A. (2020). GDOP classification and approximation by implementation of time delay neural network method for low-cost GPS receivers. Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering, 16(2), 192-200.
7. Fu, Guoyu Michael, Mohammed Khider, and Frank van Diggelen (2020). "Android raw GNSS measurement datasets for precise positioning." *Proceedings of the 33rd international technical meeting of the satellite division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2020)*.
8. Kaggle, *Google Smartphone Decimeter Challenge*, [Online]. Available: https://www.kaggle.com/competitions/google-smartphone-decimeter-challenge/data.
9. Hurgoiu, D., Tompa, V., Neamtu, C., & Popescu, D. (2012). Low-cost GPS navigation for NXT-based robots, *Calitatea*, 13(5), 371.
10. Bisong, E. (2019). Google Colaboratory. In: Building Machine Learning and Deep Learning Models on Google Cloud Platform. Apress, Berkeley, CA. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4470-8_7.
11. McKinney, W. & others, (2010). Data structures for statistical computing in python. In Proceedings of the 9th Python in Science Conference. pp. 51–56.
12. Zsolt Nagy, Artificial Intelligence and Machine Learning Fundamentals, Packt Publishing, 2018.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ENHANCING DEFENSE AND RESCUE PLAN IN COAL MINES THROUGH GIS IMPLEMENTATION

# ПРИМЕНА ГИС У УНАПРЕЂЕЊУ ПЛАНА ОДБРАНЕ И СПАСАВАЊА У РУДНИЦИМА УГЉА

JELENA IVAZ[1], PAVLE STOJKOVIĆ[2], DRAGAN ZLATANOVIC[3*], DEJAN PETROVIĆ[4]

[1] Technical Faculty Bor, University of Belgrade, jivaz@tfbor.bg.ac.rs
[2] Technical Faculty Bor, University of Belgrade, pstojkovic@tfbor.bg.ac.rs
[3] Technical Faculty Bor, University of Belgrade, dzlatanovic@tfbor.bg.ac.rs
[4] Technical Faculty Bor, University of Belgrade, dpetrovic@tfbor.bg.ac.rs

---

***Abstract:*** *This study investigates the utilization of Geographic Information Systems (GIS) as a means to enhance the defense and rescue plan in coal mines. Coal mines are complex working environments that require comprehensive planning and readiness to effectively respond to emergencies, such as fires, explosions, floods, and other hazards that pose risks to the health and safety of miners. The study's principal findings reveal that incorporating GIS into the planning and coordination of defense and rescue operations in coal mines can substantially enhance emergency response efficiency and effectiveness. Furthermore, the utilization of GIS tools and techniques is vital for acquiring and analyzing data pertaining to the intricate work environments within coal mines. This paper seeks to contribute to the advancement of defense and rescue planning and coordination in coal mines while serving as a basis for further research and the application of GIS in this field.*

***Key words:*** *GIS; defense and rescue plan; coal mine.*

***Резиме:*** *Ово истраживање се фокусира на примену географских информационих система (ГИС) у унапређењу плана одбране и спасавања у рудницима угља у Србији. Рудници угља су сложена радна окружења која захтевају адекватно планирање и припрему за ванредне ситуације, као што су пожари, експлозије, поплаве и други ризици који могу да угрозе животе и здравље рудара. Кључни закључци овог рада су да примена ГИС у планирању и координацији акција одбране и спасавања у рудницима угља може значајно побољшати ефикасност и ефективност реаговања на ванредне ситуације, као и да је употреба ГИС алата и техника неопходна за прикупљање и анализу података о комплексним радним окружењима у рудницима угља. Овај рад има за циљ да допринесе унапређењу планирања и координације акција одбране и спасавања у рудницима угља, и да пружи основу за даље истраживање и примену ГИС у овој области.*

***Кључне речи:*** *ГИС; План одбране и спасавања; рудник угља.*

---

## 1. INTRODUCTION

Coal mining operations inherently pose risks to the health and safety of miners due to the complex and hazardous work environment. To mitigate these risks and ensure effective responses to emergencies, the development and implementation of robust defense and rescue plans are crucial. Geographic Information Systems (GIS) have emerged as valuable tools in enhancing the planning and coordination of defense and rescue actions in coal mines.

The application of GIS in the mining industry has gained significant attention in recent years. Choi, state that GIS provides a spatial framework for integrating and analyzing data, enabling a comprehensive understanding of the mining environment and associated risks [1]. It facilitates the collection, management, and visualization of various types of data, including geological, topographical, and operational information [2-3].

Numerous studies have demonstrated the effectiveness of GIS in improving safety and emergency preparedness in coal mines [4-5]. For example, Zhang, conducted research in a coal mine in China and found that the use of GIS significantly enhanced the accuracy of emergency response plans and facilitated the rapid deployment of rescue teams [6]. Similarly, Suh, conducted a comparative analysis of GIS-based defense and rescue plans in multiple coal mines, highlighting the advantages of GIS in optimizing evacuation routes and resource allocation during emergencies [7].

Building upon the existing literature, this research aims to further explore the application of GIS in improving defense and rescue plans in coal mines. By analyzing international practices and case studies, this study seeks to identify best practices and propose a comprehensive methodology for the development and implementation of GIS-based defense and rescue plans.

Inadequate management of emergency situations can lead to the loss of multiple lives. Regrettably, the Serbian mining industry has witnessed numerous major disasters, such as the Morava mine accident in 1989 near Aleksinac, which claimed the lives of 90 miners and resulted in the closure of production shafts.

The Soko coal mine, located near Sokobanja, operates under a methane work regime, presenting a specific source of explosion risk. However, in 1998, the mine operator violated regulations by conducting blasting without prior evacuation of workers to a safe area and without informing other miners of the planned blasting. Furthermore, they failed to measure the methane levels. Consequently, an explosion occurred, claiming the lives of ten miners on site, while an additional 19 miners perished due to oxygen deprivation.

Unfortunately, on April 1, 2022, another tragedy struck the same coal mine. An accident in the Soko coal mine in eastern Serbia resulted in the eruption of methane, leading to the loss of life for eight miners, with 18 others injured. Fortunately, all remaining miners present in the mine at the time of the accident were successfully rescued. These tragic incidents highlight the importance of properly developed defense and rescue plans in the mining sector.

Analysis of these accidents has shown that adherence to defense and rescue plans by all stakeholders would have significantly reduced the severity of the consequences [8]. Mining companies have a legal obligation to implement necessary measures and instructions to prevent such accidents. In case of accidents, the defense and rescue plan provides guidance for response actions, which are led by a supervisor and members of the rescue team.

Rescue team members are highly skilled individuals who undergo specialized training and assessment of their physical, mental, and psychological capabilities to qualify for membership. They are well-equipped to intervene in emergency situations and provide assistance. However, it is common for no rescue team members to be present at the mine during an incident. This often places the responsibility of ensuring the safety of the workers in the hands of a single individual. Typically, this individual is a mine operator or a dispatcher at the information and communication center who must be familiar with the defense and rescue plan, including the procedures for alerting the rescue team and notifying relevant authorities.

## 2. METHODOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF DEFENSE AND RESCUE PLAN

The aim of this research is to enhance the methodology for the development and updating of the Defense and Rescue Plan, as well as to increase the efficiency of the rescue team, workers, and managers during the implementation of the plan in accident situations. The ArcGIS Desktop software package (ArcGIS) was utilized due to its numerous advantages [9]. The application of the ArcGIS program enables precise data input, clear guidelines for worker evacuation, calculation of evacuation route length and selection of the shortest path, easy plan updating, visualization of the mine and worker evacuation routes, as well as simple data search and manipulation [10].

ArcGIS for Desktop is a software product developed by the American company Esri (Environmental Systems Research Institute). It falls into the category of geographic information system (GIS) software and is part of the comprehensive ArcGIS system, which allows working with spatial data across various devices and through web browsers. Consequently, ArcGIS processes both vector and raster data models but generates a geographic database as a new data model. It is commonly used for map design and creation, data searching, editing, and processing of geographic data, as well as manipulation, exchange, and storage of such data. However, it has found applications in numerous fields, including forestry, agriculture, environmental protection, etc. [11]. The data relevant to this study is presented on the map from the geodatabase using SQL queries (structured query language) for the corresponding accident scenario.

To improve the process of creating, updating, and implementing the defense and rescue plan, as well as to facilitate decision-making and reduce the risk of inadequate reactions due to anxiety or other factors, a defense and rescue plan using ArcGIS has been developed for the Bogovina Coal Mine. This coal mine, located in the municipality of Boljevac, is engaged in underground lignite mining. The defense and rescue plan for the mine will be described in detail in the following sections.

The ArcGIS-based plan simplifies worker movement to assembly points and evacuation routes in the mine. It allows for clear guidelines and visualizations of evacuation routes, access roads for transporting affected workers, and routes for rescue team members. The software calculates arrival times and response speeds of rescue teams, medical personnel, and firefighting units. It also facilitates easy plan updates by incorporating new spatial data. Developing and harmonizing such plans for all mines in Serbia is necessary, along with familiarizing rescue team members with emergency situations in other mines. Additionally, creating plans to assist neighboring mines is crucial for anticipating support arrival time. The software package benefits underground mine worker training by providing visual and three-dimensional representations of emergency situations, enhancing the quality of training. Its applications in underground mining include analyzing mining-related injuries, underground and surface water inflow, and assessing ground settlement impacts.

## 3. CASE STUDY

Based on this research, a Defense and Rescue Plan was developed for the Bogovina coal mine engaged in underground coal mining and in preparation for other mines [12]. There is no clear guideline for the development of the Defense and Rescue Plan; however, the Plan should essentially consist of three parts. Each part of the Defense and Rescue Plan was processed using the ArcGIS Desktop package.

In the first part, the position of the mine was displayed on the georeferenced Word Imagery with Labels (WIL) map using the ArcMap tool. Specific data groups were provided for each layer: Display of the Boljevac Municipality on the WIL map, showing the mine location, mine operation facility, rescue team station, entrance to the Eastern field shaft, main ventilation facility, access routes to the nearest healthcare institution and police station.

Spatial map of the Municipality, presenting the residential addresses of the rescue team members and the distances to the rescue team station. Additionally, a tabular overview of each member with mandatory information, such as phone numbers for the police, mining inspection, and fire brigade, was provided. An example query from the first part of the Defense and Rescue Plan. The query demonstrates that three members of the rescue team reside in the Zlot area, displaying their phone numbers, function within the team, and job title. In ArcMap, the shortest path to the rescue team station was drawn, along with the distance in meters. The second section presents data concerning the mine and mine production system. All data points are geographically referenced and organized into layers as outlined below:

- Mining corridors within the East Field underground mine, categorized as active and non-active.
- Geological characteristics of the site, including fault zones, layer dip, exploration drill holes, and overburden.
- Mine ventilation system, encompassing fresh air intake, exhaust air, ventilation barriers, ventilator capacity, and auxiliary ventilation.
- Mine drainage, involving primary and auxiliary water collectors, pumps, and pipelines.

- Mine transportation system, specifying the conveyor's position, transfer points, cableway drive, and winch.
- Safety-related features within the mine, such as primary and auxiliary storage areas for explosives and electric detonators, power stations, fire extinguisher locations, first-aid kits, stretchers, and others. In case of emergencies, detailed plans highlighting crucial layers for the rescue crew can be accessed promptly.

The third section of the Plan provides an overview of potential accident scenarios. These situations are presented in Table 1 and are sequentially labeled from I to VI. Each scenario is associated with a specific symbol used for searching within the ArcMap software. Based on the selected symbol from the ArcCatalogue on the map, escape routes for workers positioned above or below the accident site are displayed, along with designated meeting points for each situation.

**Table 1**: Potential hazards in the mine with symbols and gathering places.

| Label | Place of potential hazard | Meeting point | |
|---|---|---|---|
| | | Ahead of danger | Behind the danger |
| **I** | Fire in the incoming air current in GTN and TH-1 to the crossroads TH-1 /TN | conveyor belt drive TT-1 from outside | PTN-3A/VV-1 |
| **II** | Fire in the TN-3A, TU-2, PVU-2, ETH-1, TH-1 | conveyor belt drive TT-3 | conveyor belt drive TT-3 |
| **III** | Fire at work sites from the base ETH-1 | conveyor belt drive TT-3 | conveyor belt drive TT-3 |
| **IV** | Fire in the main outgoing air current from the crossroads TH-1/PTN-3A to VO-11 | conveyor belt drive TT-3 | PTN-3A/VV-1 |
| **V** | Sudden gases breakthrough | conveyor belt drive TT-3 | conveyor belt drive TT-3 |
| **VI** | Sudden water breach | TH-1/TN | TH-1/TN |

## 4. RESULTS AND DISCUSSIONS

ArcMap, a component of ArcGIS, is utilized in this study for data presentation and map creation specific to the analysis being conducted. This tool offers numerous possibilities, including the representation of the mine and its key elements for the Plan of Defense and Rescue, creation of geo-objects, spatial data analysis, text labeling of routes, and length measurements.

### 4.1 Accident Situation I - Fire in the Incoming Airflow

The most dangerous accident scenario discussed in this section involves a fire in the incoming airflow. In such a situation, immediate measures must be taken to reverse the airflow direction. Workers located above the line of fire must retreat towards the mine's exit, specifically the meeting point TT-1 (operation of conveyor belt 1). Workers situated below the line of fire should retreat using a self-rescuer to the second mine exit, VO11 (ventilation shaft 11), as indicated by the red arrows in Figure 1.

In the event of the described accident, the on-duty personnel in the mine receive information from the workers who first noticed the accident. This information includes the type of accident situation, location, and names of the chambers where endangered workers are present. Based on this information, the on-duty personnel create a query for each chamber, specifying the parameters for evacuating the endangered workers. The query is constructed as follows: selecting the "Select by Attributes" search type, marking the layer "WITHDRAWAL_ROUTE," choosing the attributes "ACCIDENT_SITUATION_DESCRIPTION," "ACCIDENT_SITUATION_PLACE," and "AFFECTED_CHAMBER" from the dropdown menu, and adding the provided information. Figure

2 illustrates the withdrawal route for endangered workers from the work site OT-5 in light blue, generated through the query.

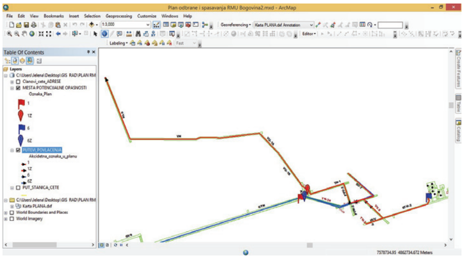
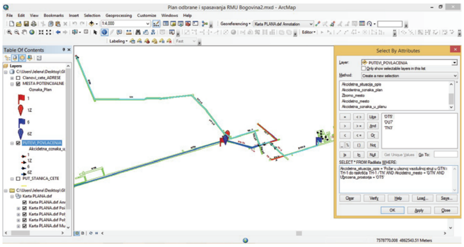


**Figure 1**: Display of an accidental situation - Fire in the incoming air current in ArcMap



Layer: PUTEVI_POVLACENJA

Method: Create a new selection

```
SELECT * FROM Radilista WHERE:
Akcidetna_situacija_opis = 'Požar u ulaznoj vazdušnoj struji u GTN i TH-1 do raskršća TH-1 /TN' AND Akcidetno_mesto = 'GTN' AND Ugrozena_prostorija = 'OT5'
```

**Figure 2**: Display by Select by Attributes type of query in ArcMap

## 4.2 Accident Situation IV - Inflow of Water and Slurry

This section addresses the potential risk of water and slurry inflow in the working zone OT-5, particularly when encountering old work areas or fault zones. To mitigate this risk, drilling of prevention wells is necessary. The designated meeting point for employees is the intersection TX-1/TN-1 (transportation corridor 1/transportation decline 1), as depicted by the blue pin in Figure 4. The procedure involves informing all mine workers about the water inflow point, initiating water pumping from all collection points within the mine, informing the responsible technical personnel or the on-duty person, and acting according to their instructions. In the case of sudden water inflow, workers, and equipment in ETX-1 (leveled transportation corridor 1) are at risk, and they must retreat to the crossroad PVU-2/TU-2 (transverse ventilation incline-PTU 2/transportation incline-TU 2). Workers from the preparation site, as well as those involved in transportation and delivery of raw materials, should retreat through TH-1 to the designated meeting point. Operators on TT-2 (conveyor belt 2) and TT-3 (conveyor belt 3) should remain in their positions.

According to a research study conducted in underground coal mines in Serbia over the past decade, the implementation of Geographic Information Systems (GIS) has begun. The development of the initial defense and rescue plan demonstrated a significant reduction in response time and improved efficiency in evacuating personnel during accident situations. The study encompasses multiple mines located in different parts of the country and reveals that mines utilizing GIS solutions experienced fewer casualties and less infrastructure damage compared to those not employing these technologies. These findings indicate the potential application of GIS in enhancing Emergency Response and Evacuation Plans in coal mines worldwide.

## 5. CONCLUSION

Considering the challenges and risks faced by the coal mining industry, the implementation of geographic information systems (GIS) has proven to be an effective strategy for enhancing defense and rescue plans. This technology enables the integration of various spatial data and analysis of the mining environment, providing a comprehensive understanding of risks and facilitating the coordination of emergency actions. Studies have confirmed that GIS can significantly increase the accuracy of emergency plans, optimize evacuation routes, and improve resource allocation.

The coal mining accidents in Serbia underscore the urgent need for the application of such systems to improve miner safety and preparedness for emergencies. Developing GIS-based defense and rescue plans for all mines, familiarizing rescue team members with potential emergency situations in other mines and establishing mechanisms of cooperation between mines are crucial steps towards reducing risks and protecting lives. The adoption of software packages such as

ArcGIS offers practical solutions for planning, updating, and visualizing defense and rescue plans, as well as for training and coordinating rescue operations.

Further research on the application of GIS in coal mining, identification of best practices, and the development of new technological innovations to further enhance mine safety and emergency response are recommended. Systematic improvement of defense and rescue plans, coupled with ongoing training and empowerment of mining personnel, is key to achieving the goal of safe and sustainable coal mining.

## REFERENCES:

[1] Choi, Y., Baek, J. and Park, S., 2020. Review of GIS-Based Applications for Mining: Planning, Operation, and Environmental Management. Applied Sciences, 10(7), p.2266, https://www.mdpi.com/2076-3417/10/7/2266/htm.

[2] Zlatanovic D., Štrumberger A., Vukas R. 2011. Quantifying mining performance indicators: spatial information and GIS technology as a tool in the mining industry, 4th Balkan mining congress, Ljubljana, Slovenija, 635-641, 2011, ISBN 978-961-269-534-7.

[3] Ivaz J., Stojković P., Vušović N., Kržanović D., Petrović D., Stojadinović S., Milić V., 2017b. GIS design of the underground coal mines, 49th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, ISBN: 978-86-6305-066-2, 18.10.2017 - 21.10.2017, pp. 514 - 517.

[4] Mohamed Ali, Ahmed Abd El-Aziz, Mohamed Elwageeh, 2023. Optimization of escape routes during mine fire using GIS, Mining Technology, Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Volume 132, 2023 - Issue 1 Pages 55-64, https://doi.org/10.1080/25726668.2022.2163550.

[5] Seda Şalap, Mahmut Onur Karslıoğlu, Nuray Demirel, 2009. Development of a GIS-based monitoring and management system for underground coal mining safety, International Journal of Coal Geology, Volume 80, Issue 2, 1 November 2009, Pages 105-112.

[6] Junwen Zhang, 2022. Design and Implementation of Coal Mine Safety Monitoring System Based on GIS, Hindawi Wireless Communications and Mobile Computing, Volume 2022, Article ID 4771395, 13 pages, https://doi.org/10.1155/2022/4771395.

[7] Suh, J., Kim, S., Yi, H. and Choi, Y., 2017. An Overview of GIS-Based Modeling and Assessment of Mining-Induced Hazards: Soil, Water, and Forest. International Journal of Environmental Research and Public Health, 14(12), p.1463. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5750882/

[8] Ivaz J., Stojković P., Vušović N., Petrović D., Stojadinović S., Milić V., 2017a: Presentation and analysis of injuries in lignite mine Lubnica on a GIS model, 49th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Serbia, ISBN: 978-86-6305-066-2, 18.10.2017 - 21.10.2017, pp. 518 - 521.

[9] Srbovic D., Gajovic V., (2015). ArcGIS for Desktop 10x – User Guide, GDi GISDATA, Belgrade, 2015, ISBN: 978-86-918591-0-7.

[10] Craynon, J., Sarver, E., Ripepi, N. and Karmis, M., 2015. A GIS-based methodology for identifying sustainability conflict areas in mine design – a case study from a surface coal mine in the USA. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 30(3), pp.197-208. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17480930.2015.1035872

[11] Vusovic N.M., Vlahovic M., Ljubojev M., Krzanovic D. (2020). Software solution for the mine subsidence prediction based on the stochastic method integrated with the GIS, Mining and Metallurgy Engineering Bor (2020) (3-4) 1-16, DOI: 10.5937/mmeb2002001v

[12] Plan of defense and mine rescue in coal mine Bogovina for year 2017, „JP PEU Resavica" (ЈП ПЕУ РЕСАВИЦА, План одбране и спасавања рудника мрког угља Боговина, 2017).

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# КОНТРОЛА КВАЛИТЕТА ИНДУСТРИЈСКИХ ПРОИЗВОДА ПРИМЈЕНОМ ДАЉИНСКОГ ИСТРАЖИВАЊА

# QUALITY CONTROL OF INDUSTRIAL PRODUCTS USING REMOTE SENSING

ЉУБОМИР ГИГОВИЋ[1], МИРОСЛАВ ВУЈАСИНОВИЋ[2], АДРИЈАНА ТОШИЋ[2], СЛАЂАНА СТАНИШИЋ[2], МИОДРАГ РЕГОДИЋ[2]

[1]Универзитет одбране, Војна академија Београд, gigoviclj@gmail.com
[2]Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет,
miroslav.vujasinovic@aggf.unibl.org, adrijana.tosic@student.aggf.unibl.org,
sladjana.stanisic@aggf.unibl.org, miodrag.regodic@aggf.unibl.org

---

***Резиме:*** *Индустријске камере су незаобилазан и поуздан избор које служе за оцјењивање, контролу квалитете производа на производним линијама и аутоматизацију производње. Данашњи модерни системи индустријске аутоматизације и контроле квалитета незамисливи су без употребе визуалне контроле производа у процесу производње. Увођење камера у индустријска постројења омогућује директну контролу над кључним дијеловима у реалном времену. Примјеном индустријских камера добијају се квалитетни снимци, чија даља обрада обезбјеђује информације неопходне за праћење тока укупног производног процеса. Највећу примјену у индустријама могу имати термографске (инфрацрвене) камере. У раду су представљене могућности снимања за потребе контроле квалитета производног процеса у многим гранама индустрије.*

***Кључне речи:*** *Индустријске камере, Индустријски производи, Дигитални снимци, Идентификација објеката.*

***Abstract:*** *Industrial cameras are an essential and reliable choice for assessing and controlling the quality of products on production lines and automating manufacturing processes. Today's modern industrial automation and quality control systems are unimaginable without the use of visual product inspection during the production process. The introduction of cameras in industrial facilities enables direct real-time control over key components. The use of industrial cameras provides high-quality images, and their further processing provides the necessary information for monitoring the overall production process. Thermal (infrared) cameras can find significant applications in various industries. This study presents the possibilities of using remote sensing for quality control purposes in many branches of the industry.*

*Keywords: Industrial cameras, Industrial products, Digital imagery, Object identification.*

---

## 1. УВОД

Индустријске камере су незаобилазан и поуздан избор које служе за оцјењивање, контролу квалитете производа на производним линијама и аутоматизацију производње. Врло често сама камера није довољна, али се она лако интегрише у постојећи контролни систем.

Контрола квалитета финалних производа, као и укупног производног процеса, спроводи се у многим гранама индустрије, као што су: прехрамбена, аутомобилска, хемијска, текстилна индустрија и многе друге.

Камере, заједно са аутоматизованим системима, помажу и при процесима паковању и транспорту производа у многим привредним гранама. Данашњи модерни системи индустријске аутоматизације и контроле квалитета незамисливи су без употребе визуалне контроле производа у процесу. Увођење камера у индустријска постројења омогућује већу просторну видљивост дијелова индустријског процеса и директну контролу над кључним дијеловима у реалном времену, са циљем повећања учинковитости производне линије или линије за паковање [1].

## 2. ПРИМЈЕРИ КОНТРОЛЕ КВАЛИТЕТА ИНДУСТРИЈСКИХ ПРОИЗВОДА

Коришћење видео камера за надзор одређеног простора нашло је широку примјену и увелико замијенило ангажовано особље.

Удаљено надзирање подразумијева повезивање локално повезаних надзорних камера свих производних јединица са централним управљачким и централним сигурносним надзорним мјестом и са неком од удаљених конекција: WAN (*Wide Area Network*), интернет, телефонске мреже, мобилне телефонске мреже.

Индустријске камере користе машински вид (*енгл. Machine Vision, MV*) као оптички и електронички систем, који може аутоматски дигитално снимити вишедимензионалну слику објекта или детаље на објекту и такву снимљену слику може обрадити и дигитално уредити за одговарајућу намјену [2].

### 2.1. Контрола квалитета у прехрамбеној индустрији

До повећања продуктвности, ефикасности и квалитета у прехрамбеној индустрији, индустрији пића и фармацеутској индустији долази аутоматизацијом производног процеса примјеном роботике и контролом квалитета помоћу индустријских камера.

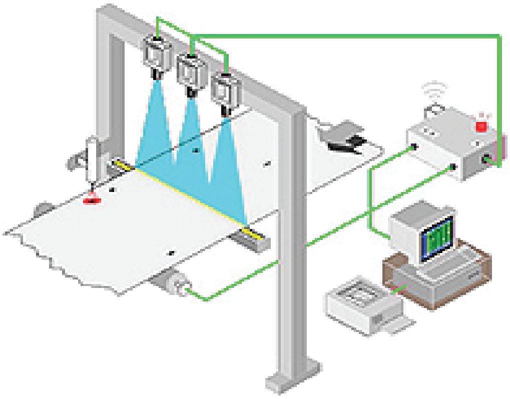
На овај начин се максимално посвећује пажња свим фазама производње, од улаза у производни процес, процеса производње (бирање, сортирање, манипулација, контрола, паковања, постављања на палете), чиме се повећава ефикасност опреме и појединих одјељења и контролише потрошња енергије по појединим производним линијама. Део прехрамбеног производног процеса представљен је на Слици 1.

**Слика 1**: Контрола производних процеса у прехрамбеној индустрији [3]

Камере се могу користити и за праћење технолошких параметара производа, попут количине, влажности, температуре, облика и др. (Слика 2). Са камерама и софтвером који омогућују тренутно надгледање производње, убрзава се процес доношења одлука, како на нивоу контроле, тако и у даљим улагањима. Када се стање производа надгледа у току производње, може се једноставно утврдити сваки недостатак, који може да се јави у свим фазама производног процеса и који негатвно утиче на процес производње и коначни квалитет производа.

**Слика 2:** Праћење технолошких параметара производа у производном процесу [4]

У прехрамбеној индустрији на производним тракама се посебна пажња посвећује облику и коначном изгледу производа. Камера које су постављење тачно изнад производне траке, скенирају производ. Снимак је доступан произвођачу на мониторима, при чему је могуће на вријеме и брзо одстранити сваки неисправни проивод из даљег процеса проиводње (Слика 3).



**Слика 3:** Праћење изгледа производа
на индустријским тракама помоћу камера [5]

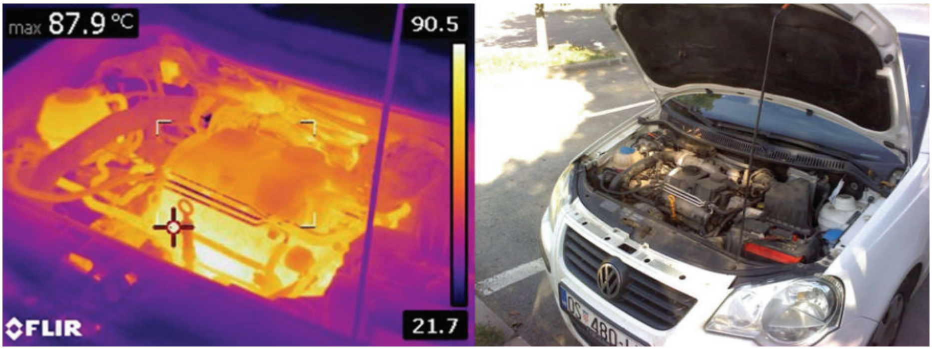
## 2.2. Контрола квалитета у аутомобилској индустрији

У данашњој аутомобилској индустрији постављају се све већи захтјеви на удобност и повећану сигурност путника. То захтјева врло прецизно дизајнирање компоненти које ће бити издржљиве и квалитетне. Све чешће се у производњи користе роботизовани системи који садрже и различите типове камера, ради вршења контроле квалитета производа у производним линијама (Слика 4).

**Слика 4**: Аутоматизација и контроле квалитета
у ауто индустрији примјеном роботике и камера [6]

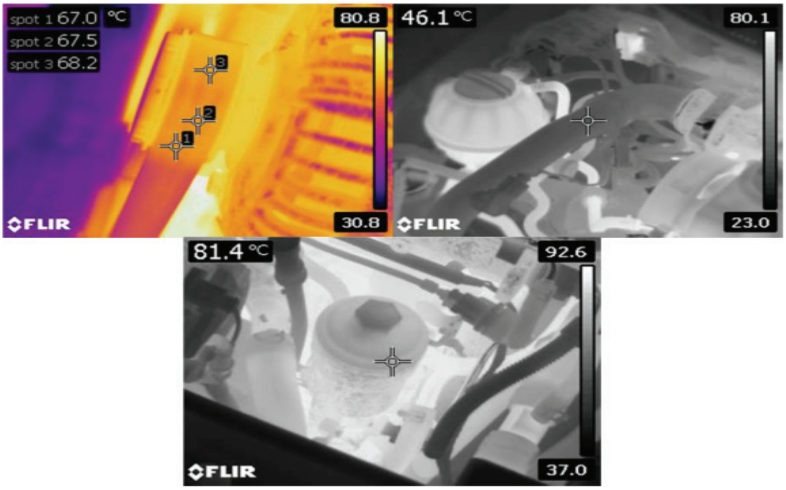
Да би се то осигурао квалитет производа, компоненте морају проћи разноразна тестирања, а једно од главних провјера је тестирање методом инфрацрвене термографије. Поред инфрацрвених камера, за надзор и контролу производње, користе се и видео снимајуће камере, као и ласерске камере, које увелико олакшавају процес производње (неке од компоненти које се могу тестирати су моторни простор возила, грејне компоненте, расвјетна технологија, електроничке и сигурносне компоненте и др.).

Инфрацрвене камере могу регистровати неправилности у моторном погону возила показујући температурно стање компоненти и на тај начин се откривају проблеми везани за прегријавање дијелова мотора. На Слици 5 је приказан термограм блока мотора, гдје је помоћу инфрацрвене камере *flir*, очитана температура од 87.9°C.



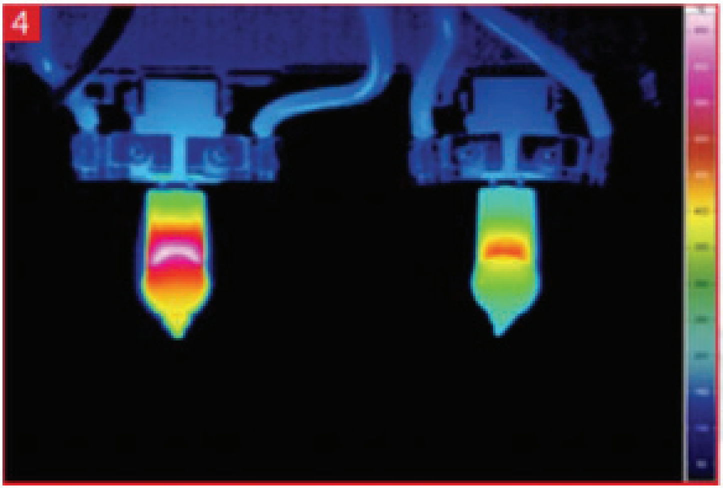
**Слика 5:** Термограм моторног простора возила [7]

Уз снимање блока мотора прецизно се снимају и остале компоненте, као што су ремен, усисна грана и филтер уља, што се може видјети на Слици 6.



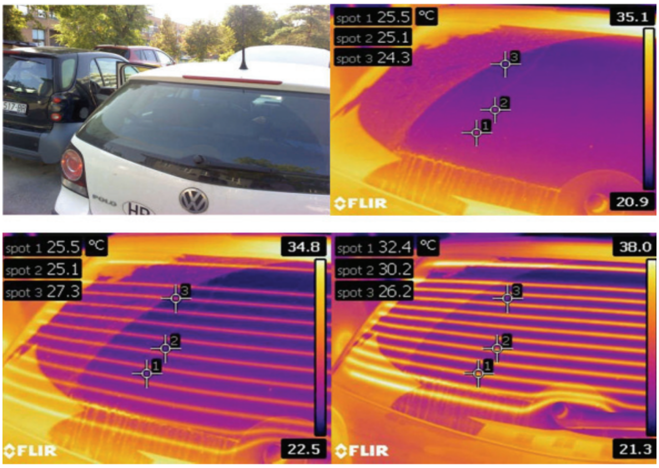
**Слика 6:** Термограм ремена, усисне гране и филтера уља [7]

На Слици 7 приказан је термограм предњег свјетла возила, који служи за тестирање функционалности и развој компоненти, ради оптимизације перформанси за расвјетну технологију.



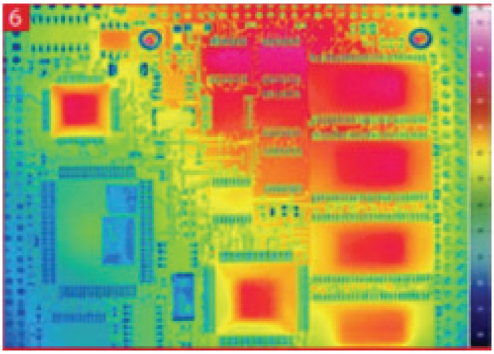
**Слика 7:** Термограм жаруља предњег свијетла возила [7]

На квалитетним снимцима инфрацрвених камера за снимање топлоте, могу се уочити неправилности на гријаним сједиштима или задњим прозорима (Слика 8). Уколико се открије да постоји прекид протока топлоте, значи да постоји неки квар, који се може на вријеме отклонити.



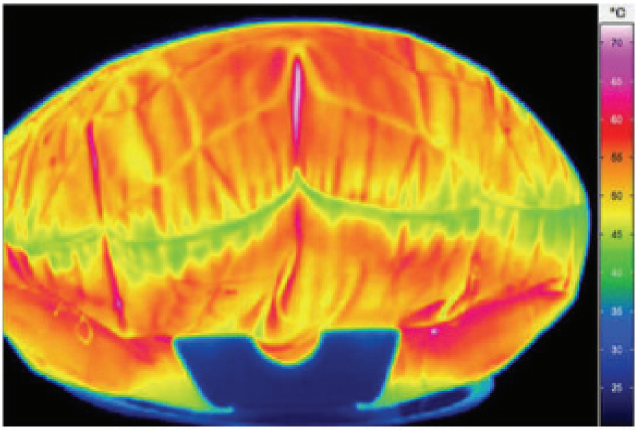
**Слика 8:** Термограм гријача задњег прозора возила [7]

На Слици 9 приказан је термограм штампане плоче, начињен за потребе тестирања понашања електричних склопова на штампаним плочама. Термограм је снимљен прије стављања штампане плоче у возило, јер накнадно снимање није могуће (оне се приликом уградње у возило, постављају у кућишта).



**Слика 9:** Термограм штампане плоче возила [7]

Тестирање рада ваздушног јастука расподјелом топлоте приликом активирања, представљено је на термограму (слика 10).



**Слика 10:** Термограм тестирања ваздушног јастука [7]

Осим тестирања компоненти возила, у данашњој аутомобилској индустрији, много пажње се поклања аутономној вожњи. Тако да многе фирме спроводе опсежна тестирања за развој потпуне аутономне вожње, што представља велики технички изазов, као и стална тестирања за унапређење сигурносних система за кочење.

## 3. ЗАКЉУЧАК

Индустријске камере представљају поуздан сензор, који се користе за контролу и оцјењивање квалитета производа у све присутнијој аутоматизованој производњи.

Камера заједно са софтверским алатима за визуелну инспекцију производа (фокус, поклапање облика, алати за мјерење, алати за читање карактера и кодова, логичке функције, верификација бар кода) подржава различите индустријске протоколе и посједује сопствени улазно/излазни модул. Користећи добијене улазне податке са сензора, софтвер покреће алгоритам за управљање машинама, опремом и фабричком инфраструктуром.

Термографске термалне камере раде на принципу прикупљања података о температури објеката или тијела, те изради термограма и обради прикупљених података. На основу термограма, промјене на објекту се уочавају у реалном времену и тиме омогућава правовремено откривање проблема, што доприноси предузимању радњи за њихово отклањање и спречавање кварова и штетних последица и у производном процесу.

Фотограметријска и видео снимања, за потребе контроле квалитета производа и свих фаза производог процеса, врши се у многим гранама индустрије, као што су прехрамбена, аутомобилска, хемијска, текстилна, итд. Ова снимања, као и сензори и софтвери за обраду, анализу и интерпретацију добијених снимака, непрекидно се развијају и прошириjу своју примјену у скоро свим областима људског дјеловања.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Malčić, G., Bratanić, H., Alajbegović, M. (2007). Vizualna kontrola uporabom mrežne kamere. MIPRO, Computers in Technical Systems & Intelligent Systems (CTS & CIS), Vol.III, 115-119.

[2] Panadić, T., Matika, D. (2023). Upravljanje i vizualizacija kvalitete proizvoda na servo transporteru pomoću industrijske kamere i 3D skenera. POLYTECHNIC & DESIGN Vol. 11, No. 1, 49-59.

[3] https://kras.hr/hr/o-nama/mediji/fotogalerija?id=429

[4] https://ey.com/en_in/strategy-transactions/deal-alerts/2022/02/globela-pharma-private-limited

[5] https://saintytec.com/vision-inspection-machine/

[6] https://quality.org/knowledge/layered-process-audits-show-benefits-focusing-facts-well-faults

[7] https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A2613/datastream/PDF/view

# КРЕИРАЊЕ ПОМОЋНИХ ИЗОХИПСИ НА ДИГИТАЛНОЈ ТОПОГРАФСКОЈ КАРТИ РАЗМЕРЕ 1:50.000

# CREATION OF SUPPLEMENTARY CONTOUR LINES ON DIGITAL TOPOGRAPHIC MAP AT SCALE 1:50.000

МАЈА ЂОКИЋ[1], ВИКТОР МАРКОВИЋ[2], МИЛОШ БАСАРИЋ [3]

[1] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић”, Београд, oraovicajankovic@gmail.com
[2] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић”, Београд, viktor_bre@yahoo.com
[3] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић”, Београд, m-basaric@protonmail.com

---

***Резиме:*** *Висинска представа терена на топографским картама представља важан елемент садржаја који значајно утиче на употребну вредност карте, поготово за војне потребе. Приказ рељефа изохипсама у односу на декларисану еквидистанцију карте, се различито примењује на различитим размерама топографских карата. Помоћне изохипсе на топогорафским картама су релативно честа појава значајна за детаљније описивање терена. Њихова картографска обрада је тренутно временски захтевна, због чега је оправдано унапређење досадашњег процеса њиховог креирања и обраде. У овом раду је објашњено приказивање рељефа са помоћним изохипсама, као и досадашњи (мануелни) и унапређени начин за извођење радова за њихово креирање на карти размера 1:50.000.*

***Кључне речи:*** *изолиније, изохипсе, помоћне изохипсе, рељеф.*

***Abstract:*** *Height representation of terrain on topographic maps is an important element of the map content that significantly affects the use of the map, especially for military purposes. Displaying the relief with contour lines in relation to declared map equidistance, is applied differently at different scales of the topographic maps. Supplementary contour lines on topographic maps are a relatively common phenomenon, important for more detailed description of the terrain. Cartographic processing of supplementary contour lines is currently time-consuming, which is why the improvement of the current process of their creation and processing is justified. This paper explains the relief visualization with supplementary contour lines as well as the previous (manual) and improved way of the creation process of supplementary contour lines at scale 1:50.000.*

***Keywords:*** *isoline, isohypse, intermediate contour, relief.*

---

## 1. УВОД

На топографским картама (ТК) се представља земљина површина са свим својим физичко-географским и социјално-економским објектима који се на њој налазе [1]. Дигитална топографска карта у размери 1:50.000 (у даљем тексту ДТК50) се креира као поглед на базу података, чијом визуализацијом настаје традиционални изглед карте у специфичном временском пресеку. База података је по свом типу просторна и чува картографске податке, док аналогна карта у класичном смислу представља њену материјализацију [2].

Рељеф је један од најзначајнијих географских елемената на ТК, јер земљишту даје основне карактеристике. За приказивање рељефа на картама се користе разне методе: перспективне, просторне или пластичне (цртице или шрафе, сенке, слојеви), геометријске (метода кота и изохипси) и комбинације разних метода [1]. За представљање рељефа на крупноразмерним (топографским) картама, највише се пажње усмерава ка геометријској тачности рељефа, док се на ситноразмерним и средњеразмерним картама тежи вернијем приказу пластичности рељефа, географској верности и сликовитости.

Због једноставне представе и могућности геометријски тачног приказа терена на свим данашњим ТК крупније размере користе се изохипсе, што важи и за ТК Војногеографског института – „Генерал Стеван Бошковић” (у даљем тексту ВГИ). Осим изохипси на ТК се користе и коте и условни знаци за приказ рељефних облика земљине површине [1].

У овом раду биће представљено коришћење помоћних изохипси у оквиру представљања рељефа на ДТК50, као и решење за ефикаснију картографску обраду рељефа по питању креирања помоћних изохипси на половини еквидистанције у оквиру *ArcGIS* софтвера (*ArcMap*). Листови ДТК50 могу да садрже велики број помоћних изохипси и самим тим је оправдана потреба за унапређивање методе креирања ових елемената.

## 2. ПРЕДСТАВЉАЊЕ РЕЉЕФА НА ДТК50 И ПОЈАМ ПОМОЋНИХ ИЗОХИПСИ

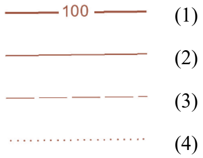
На ДТК50 се практикује геометријски метод приказ рељефа путем изохипси и кота. Као основни картографски извор на основу кога се креирају изохипсе на ДТК50 се користи претходно креирана Дигитална топографска карта размере 1:25.000 (у даљем тексту ДТТК25). Изохипсе на ДТК50 нису генералисане геометријски, него логички, па је тако извршена комплетна прекатегоризација вектора изохипси и њихових симбола у складу са просторном базом и топографским кључем.

Модели за аутоматску генерализацију садржаја ДТК50 се креирају коришћењем програмског језика *python* или путем модула за *ArcGIS - Model Builder*. Директним програмирањем у *python*-у су креирани скриптови за аутоматску генерализацију ДТК50, док се у *Model Builder*-у креирају модели за аутоматску генерализацију ДТК50. Како се један лист ДТК50 састоји од 4 листа ДТК25, генерализација и картографска обрада садржаја ДТК50 може почети тек када 4 одговарајућа листа ДТК25 буду комплетно израђени [2].

Да би се објаснило како се представља рељеф на ДТК50 потребно је објаснити представљање рељефа на ДТК25 из које је ДТК50 генералисана, али и појам помоћних изохипси. Рељеф се на ДТК25 приказије изохипсама, висинским тачкама, условним знацима и бројчано-словним подацима, при чему је основна еквидистанција 10 m. Свака пета изохипса је главна изохипса, исцртава се дебљом линијом и њена висина је дељива са 50 без остатка. На главним изохипсама се местимично исписују висине, како би се омогућило лакше „читање“ рељефа, односно лакше одређивање висине. За јасније и детаљније приказивање рељефа, као и за лакше уочавање карактеристичних рељефних облика користе се помоћне изохипсе, које се исцртавају на половини или четвртини еквидистанције, тј. на 5 m и 2,5 m. Помоћне изохипсе се користе за изражавање теренских облика који се не могу приказати основним изохипсама. Начелно, њих треба користити код приказивања карактеристичних теренских форми: преломи и одсеци терена, јаруге и седла, поједина узвишења и удубљења, ако се то не може верно приказати основним изохипсама. У равничарском подручју обично се примењују све помоћне изохипсе. На брежуљкастом и брдовитом земљишту помоћне изохипсе примењују се само ако нагиб земљишта између две суседне изохипсе није равномеран, али и за приказивање карактеристичних рељефних облика (седла, поједина узвишења и удубљења). На планинском земљишту се користе само помоћне изохипсе од 5 m, и то изузетно за боље изражавање рељефа код широких седала, гребена, врхова и заравни. Коришћење помоћних изохипси се начелно повећава у равничарским и крашким пределима, где се карактеристике локалног рељефа не могу другачије изразити. Код терена са равномерним падом се користе тамо, где ће приказивати детаље које се основним изохипсама не могу изразити.

На ДТК50 рељеф се такође приказује изохипсама, висинским тачкама, условним знацима и бројчано-словним подацима. Изохипсе су основни начин приказивања рељефа код кога мора да се задовољи: да са довољном детаљношћу и тачношћу морају бити изражени сви елементарни облици рељефа и задржане њихове карактеристичне особине; да на карти треба да се јасно истичу орографске тачке (врхови и седла) и орографске линије (вододелнице, водосливнице, линије прелома и подножја); изохипсама се морају верно приказати правци и стрмине нагиба и њихове промене; распоредом изохипси и обликом савијања треба да се задрже типичне црте рељефа, како су представљене на ДТК25; рељеф мора бити усклађен са осталим елементима садржаја карте [2].

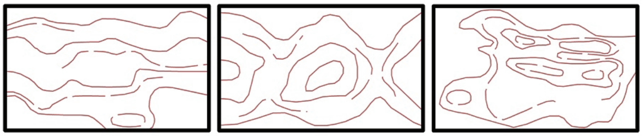
Еквидистанција на ДТК50 је 20 m. Свака пета изохипса чија је висина дељива без остатка са 100 се приказује као главна изохипса. На овим изохипсама врши се означавање висина бројчаним подацима на одговарајућим местима ради лакшег очитавања висина са карте. Помоћне изохипсе се користе за изражавање теренских облика који се не могу приказати основним изохипсама. Оне се на ДТК50 приказују на половини или четвртини еквидистанције, тј. на 10 m и 5 m. Помоћне изохипсе на ДТК50 које се приказују на половини еквидистанције геометријски представљају делове основних изохипси које су приказане на ДТК25. Оне су по геометријским карактеристикама углавном отворене линије, јер представљају најкарактеристичне делове изохипси приказане на карти вишег размера (ДТК25), али могу бити и затворене уколико се ради о врховима или вртачама представљеним у размери. Симбологија изохипси у сепија боји на ДТК50 представљена је на Слици 1 где видимо да се главна изохипса на 100 m приказује задебљаном линијом (1), основна изохипса на 20 m танком линијом (2), док се помоћне изохипсе приказују испрекиданом линијом на половини еквидистанције од 10 m (3), а тачкастом танком линијом изохипсе на четвртини еквидистанције од 5 m (4).



**Слика 1**: Симбологија изохипси на ДТК50

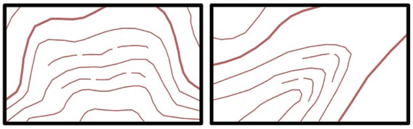
## 3. ПРИКАЗ КАРАКТЕРИСТИЧНОГ РЕЉЕФА И ЗАДРЖАВАЊА ДЕКЛАРИСАНЕ ТАЧНОСТИ ВИСИНСКЕ ПРЕДСТАВЕ УСЛЕД ГЕНЕРАЛИЗАЦИЈЕ

Помоћне изохипсе се користе за приказивање карактеристичних рељефних облика, али са великом обазривошћу у односу на читљивости карте. Праг читљивости на ДТК50 износи 0,2 mm што у размери карте представља 10 m. Због тога се мора обезбедити минимално растојање од суседних изохипси. Слика 2 приказује помоћне изохипсе које побољшавају приказ топографије тераса (1), превоја (2) и малих брда (3) [4], приређено у симбологији ДТК50 издања ВГИ. Илустрован је адекватан приказ помоћних изохипси.


(1) (2) (3)

**Слика 2**: Правилан приказ помоћних изохипси на топографским картама [4]

На Слици 3 су приказани примери неадекватних помоћних изохипси [5], приређено у симбологији ДТК50 издања ВГИ. Оне не преносе корисне информације и редудантне су, јер су њихове удаљености до суседних виших и нижих изохипси идентичне [6].



**Слика 3**: Неправилан приказ помоћних изохипси на топографским картама [5]

Изохипсе ДТК25 су представљене са еквидистанцијом од 10 m. Висинска представа терена изохипсама на ДТК50 са еквидистанцијом од 20 m настаје селективним преузимањем векторских линијских података са ДТК25, у адекватној симбологији. Са друге стране, висинска представа другог издања ТК25 рађена је на основу фотограметријског премера. Од 1965. године почело је испитивање тачности те карте. Како је очекивана висинска тачност карте израђене на основу фотограметријског премера, изражена формулом Копеа износи $\pm\sqrt{(1{,}1)^2 + (6{,}5tg\alpha)^2}$, где је α нагиб терена, утврђена је висинска средња грешка за фотограметријски премер од $(1{,}4 + 4{,}1tg\alpha$ ), па је средња квадратна грешка за равничарски терен 0,5 m (утврђено на узорку од 4 листа) и за терене средњих висина ± 2,2 m (утврђено на узорку од 27 листова), као што се наводи у [1] и [3].

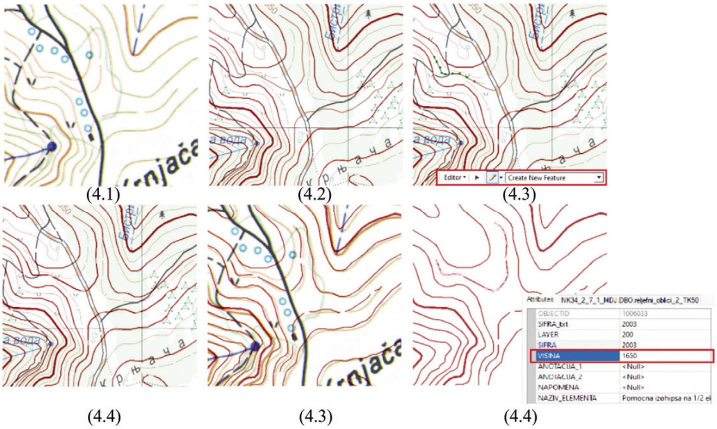
Самим тим, сходно представљеним релацијама, као што се наводи у [1], висинска тачност детаљних тачака чије су висине добијене помоћу изохипси, одражава тачност картографских извора ТК25, па и ДТК25. Важно је напоменути, да нису вршене студије које би адресирале проблем положајне тачности на ДТК25 и ДТК50, па је овај проблем сведен на поменуте импликације, док је у плану извођење новог фотограметријског премера који би за циљ имао креирање новог и тачнијег векторског приказа терена изохипсама и висинским тачкама.

## 4. КРЕИРАЊЕ ПОМОЋНИХ ИЗОХИПСИ – МАНУЕЛНИ И ПОЛУАУТОМАТСКИ НАЧИН

У поступку аутоматске генерализације се свака друга изохипса елиминише, јер се са еквидстанције од 10 m, која је дефинисана за израду рељефа на ДТК25, прелази на еквидистанију која је дефинисана за ДТК50, а то је 20 m. Са ДТК25 се такође у поступку аутоматске генерализације елиминишу и помоћне изохипсе, које су на овој карти биле приказиване на еквидистанцији од 5 m и 2,5 m.

Помоћне изохипсе се на ДТК50 креирају у току картографске обраде генералисаног садржаја. Креирање помоћних изохипси се заснива на прецртавању делова рељефа са секундарног картографског извора (старије издање ТК50), који се не налази у оквиру просторне базе података, већ је дистрибуиран у виду растерског сервиса у оквиру LAN мреже ВГИ. Подлоге које се користе приликом израде ДТК50 су растерски и векторски сервиси. Од растерских сервиса се користе завршени, георефеенцирани и растеризовани одштампани листови ДТК25 (IV ТК25), растери скенираних и георефеенцираних ТК25 (друго и треће издање), као и растери скенираних и георефеенцираних ТК50 (друго издање). Од векторских сервиса се користи векторски садржај ДТК25 и садржај се редовно ажурира, с обзиром да приказује векторски садржај комплетно урађених листова, али и листова који су тренутно у раду, као и други помоћни векторски сервиси. Поступак мануелног креирања помоћних изохипси приказан је на Слици 4. На самом почетку потребно је уочити на ком месту треба исцртати помоћну изохипсу, при чему се корист растерска подлога старијег издања ТК50 (4.1). Линија помоћне изохипсе се црта у односу на растерску подлогу ДТК25 новог издања (4.2), јер је она примарни извор који се користи приликом картографске обраде. Сам поступак мануелног исцртавања помоћне изохипсе се изводи првенствено одабиром опције *Create New Feature* и одговарајуће шифре за цртање, која је у бази података дефинисана за креирање помоћних изохипси. Након тога се алатком *Sketch Tool*, која се у *ArcMap*-у налази у сету алата *Editor*-а, цртање линије помоћне изохипсе врши тачку по тачку

(4.3). Када је исцртавање завршено, још једном је потребно проверити, да ли исцртана изохипса заузима исправан положај у односу на растерску подлогу ДТК25 новог издања (4.4) и у односу на растерску подлогу старог издања ТК50 (4.5). На крају преостаје да се исцртаној изохипси додели одговарајућа висина у табели атрибута (4.6), чиме је завршено исцртавање једне помоћне изохипсе у потпуности.



(4.1) (4.2) (4.3)

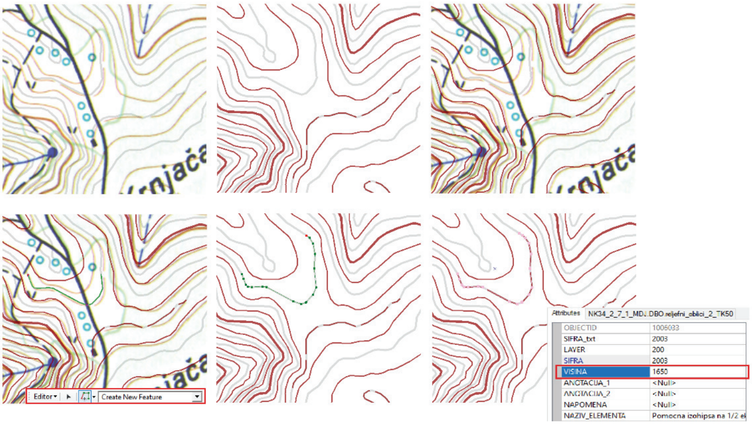
(4.4) (4.3) (4.4)

Attributes NK34_2_7_1_MDJ.DBO.reljefni_oblici_2_TK50

| | |
|---|---|
| OBJECTID | 1006033 |
| SIFRA_txt | 2003 |
| LAYER | 200 |
| SIFRA | 2003 |
| VISINA | 1650 |
| ANOTACIJA_1 | <Null> |
| ANOTACIJA_2 | <Null> |
| NAPOMENA | <Null> |
| NAZIV_ELEMENTA | Pomocna izohipsa na 1/2 ek |

**Слика 4**: Поступак мануелног креирања помоћних изохипси

Јасно је да мануелно исцртавање помоћних изохипси у току картографске обраде временски захтеван процес, зато је постојала потреба да се начин креирања помоћних изохипси убрза и олакша, а да се притом не изгуби на веродостојности и тачности приказа. Из тог разлога је исцртавање помоћних изохипси унапређено полуаутоматском методом креирања истих. За полуаутоматску методу израде помоћних изохипси се користи векторски сервис за помоћне изохипсе, које представљају основне изохипсе са ДТК25, са висинама које имају двоцифрени завршетак 10, 30, 50, 70 и 90 m. На Слици 5 приказан је поступак полуаутоматског креирања помоћних изохипси. На самом почетку потребно је уочити на ком месту треба исцртати помоћну изохипсу, при чему се користи растерска подлога старог издања ТК50 (5.1) и векторски сервис за помоћне изохипсе (5.2), који се обично користе истовремено (5.3). Цртавање линије помоћне изохипсе се започиње одабиром опције *Create New Feature* и одговарајуће шифре дефинисане у бази података.



Attributes NK34_2_7_1_MDJ.DBO.reljefni_oblici_2_TK50

| | |
|---|---|
| OBJECTID | 1006033 |
| SIFRA_txt | 2003 |
| LAYER | 200 |
| SIFRA | 2003 |
| VISINA | 1650 |
| ANOTACIJA_1 | <Null> |
| ANOTACIJA_2 | <Null> |
| NAPOMENA | <Null> |
| NAZIV_ELEMENTA | Pomocna izohipsa na 1/2 ek |

**Слика 5**: Поступак полуаутоматског креирања помоћних изохипси

Након тога се цртање линије помоћне изохипсе врши алатком *Trace Tool*, која се у *ArcMap*-у налази у сету алата *Editor*-а (5.4), једноставним превлачењем преко векторског сервиса (5.5). Када је исцртавање завршено преостаје да се додели одговарајућа висина у табели атрибута (5.6), чиме је процес завршено у потпуности.

Полуаутоматска метода је погодна за примену, јер при исцртавању помоћних изохипси штеди на времену, а самом оператеру који врши картографску обраду пружа конформнији начин рада. Осим тога, ова метода цртања помоћних изохипси даје веродостојност приказа, омогућава смањење грешака и пружа доследност у приказу рељефа у односу на ДТК25. На основу векторског сервиса, могуће је тачно закључити која је изохипса помоћна, јер изохипсе садрже податке о висини, што смањује могућност грешке коју можемо направити код мануелног исцртавања изохипси, јер се висине изохипси у том случају процењују са растерског сервиса. Такође, код ове методе се изохипса исцртава тачно на месту где је била исцртана на ДТК25, чиме се пружа геометријска доследност приказа у односу на ДТК25.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Помоћне изохопсе су од великог значаја за верно приказивање рељефних облика на ДТК50 и ТК уопште. Изохипсама које су приказане само на основној еквидистанцији не можемо приказати све потребне информације о рељефу, зато се тежи да се кориснику карте помоћним изохипсама прикажу битне карактеристике рељефних облика. Код израде ТК постоји потреба за сталним унапређењем производног процеса, а да се притом сачувају и унапреде тачност и веродостојности свих елемената на ТК уопште. За сада је креирање помоћних изохипси унапређено полуатоматским начином креирања истих, али и даље постоји потреба да се унапреди начин креирања помоћних изохипси до потпуне аутоматизације.

Фокус даљег рада би био на адаптацији постојећег начина, проналажење нових, али и на креирању модела који би у потпуности задовољавао потребе за продукцију геотопографског материјала у ВГИ.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] М. Петерца, Н. Радошевић, С. Милисављевић & Ф. Рацетин, Картографија, Београд: Војногеографски институт, 1974.

[2] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић”, Привремено упутство за извођење радова на дигиталној топографској карти Републике Србије размера 1:50.000, Београд: Војногеографски институт, 2020.

[3] М. Петерца, Г. Чоловић, Геодетска служба ЈНА, Београд: Војноиздавачи и новински центар, 1987.

[4] Swiss Society of Cartography, Cartographic Generalization: Topographic Maps, 2nd ed., Zurich: Swiss Society of Cartography, 1987.

[5] E. Imhof, Cartographic Relief Presentation, New York and Berlin: De Gruyter, 1982.

[6] T. Samsonov, S. Koshel, D. Walther, & B. Jenny. (2019). Automated placement of supplementary contour lines. *International Journal of Geographical Information Science*, 33(10), 2072-2093.

[7] М. Љешевић, Д. Живковић, Картографија, Географски факултет Универзитета у Београду, Београд, 2001.

[8] Војногеографски институт - „Генерал Стеван Бошковић”, Упутство за 2Д реституцију и картографску обраду садржаја ТК25, Београд: Војногеографски институт, 2020.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ДИГИТАЛНИ МОДЕЛ РЕЉЕФА И ДИГИТАЛНО МОДЕЛОВАЊЕ

# DIGITAL RELIEF MODEL AND DIGITAL MODELING

МАРИЈА СТОЈАНОВИЋ[1], МАРКО СИМИЋ[2], ВЛАДИМИР ВУЧЕНОВ[3]

[1] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, marijasmaki996@gmail.com
[2] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, marko.simic@vs.rs
[3] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, vvucenov@gmail.com

***Резиме:*** *Приказивање облика рељефа Земље сложен је картографски задатак, јер се ради о континуираном тродимензионалном (3Д) објекту. Геоморфолошки облици или облици рељефа Земље настају услед деловања две велике групе геоморфолошких сила. Прву чине силе које делују из унутрашњости Земље и које називамо унутрашњим или ендогеним силама (епирогенетски и орогенетски покрети, вулканизам и земљотреси). Другу групу чине силе које на површину Земље делују из атмосфере и које називамо спољашњим или егзогеним силама (Сунце, падавине, ветрови). Рељеф је збир свих природних узвишења, удубљења и равни, а сви остали објекти су теренски објекти. Рељефни облици и теренски објекти представљају две основне групе топографских елемената. Површина терена не може се једноставно и једнозначно описати познатим математичким законима што отежава израду 3Д модела простора. 3Д модел представља математичку репрезентацију тродимензионалног простора. За потпуно описивање био би потребан бесконачан број мерених тачака на површини терена. Данашње технологије мерења и моделовања 3Д података омогућавају израду врло квалитетних 3Д модела.*

***Кључне речи:*** *Географско информациони системи, војска, војне карте.*

***Abstract:*** *Representing the Earth's relief forms is a complex cartographic task because it involves a continuous three-dimensional (3D) object. Geomorphological features or landforms on Earth are the result of the action of two major groups of geomorphological forces. The first group consists of forces that act from the Earth's interior, known as endogenic forces (e.g., epeirogenic and orogenic movements, volcanism, and earthquakes). The second group consists of forces that act on the Earth's surface from the atmosphere, known as exogenic forces (such as sunlight, precipitation, and wind). Relief refers to the sum of all natural elevations, depressions, and plains, while all other objects are considered terrain features. Relief forms and terrain features represent two fundamental groups of topographic elements. The surface of the terrain cannot be simply and unambiguously described by known mathematical laws, which complicates the creation of 3D models of space. A 3D model represents a mathematical representation of three-dimensional space. To fully describe it, an infinite number of measured points on the terrain surface would be required. However, modern technologies for measuring and modeling 3D data enable the creation of high-quality 3D models.*

***Keywords:*** *Geographic information systems, army, military maps.*

## 1. УВОД

Први помаци у решавању одговарајућих математичких просторних проблема десили су се 1930-их и 1940-их година 20. века. Недостатак одговарајућих рачунарских машина успорио је ефективни практични напредак. Некада су просторне базе података исцртаване на парчету папира или филму, што се у поређењу са данашњим начинима картирања чини, као значајно ограничење. Како су потребе за просторним подацима и средствима за њихову анализу расле, напретком рачунарске технологије почиње нова ера у картографској науци, тзв. дигитална картографија. Прибор који се раније користио при изради карата ишчезава, а корисници карата све више траже дигиталне производе због очигледног потенцијала дигиталних анализа и истовременог раста ГИС-а [1].

Информациони системи најчешће се описују, као серија програма који су дизајнирани да представљају и управљају великим количинама података. Сви информациони системи могу се широко поделити на непросторне и просторне. Један од видова информационих система који се развија у протеклих двадесетак година је ГИС. Он чини просторни информациони систем. ГИС је рачунарски информациони систем који прикупља, складишти, анализира и приказује просторне ентитете и њихове атрибуте, за решавање комплексних истраживачких, пројектантских и проблема управљања [2]. У почетку су се дигитални модели рељефа (ДМР) и ГИС развијали одвојено. Прве ДМР апликације и алгоритми развијани су за потребе пројектовања у инжењерству. Истовремено, ГИС апликације су развијане у дводимензионалној (2Д) координатном систему (X,Y), јер је примарни извор прикупљања графичких података у ГИС-у био дигитализација постојећих карата и планова. Овакав приступ представљања података назива се 2Д ГИС. Данас, апликације ГИС-а које су посебно намењене коришћењу у инжењерству, податке о висинама третирају као засебну класу података. Овакав приступ организације података о терену назива се 2,5Д ГИС. Термин 3Д ГИС односи се на апликације које поред података о висинским представама терена садрже и висинске податке осталих ентитета, односно класа података (објекти, комуникациони правци и друго) [3].

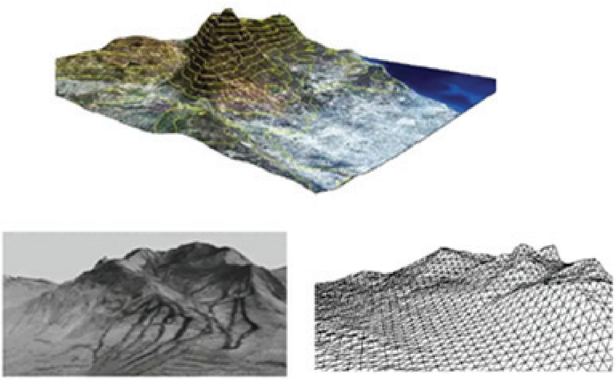
## 2. ФАЗЕ ИЗРАДЕ И ИЗВОРИ ПОДАТАКА ДМР-А

Дигитално моделовање рељефа можемо описати као систем који је сачињен од: подсистема моделовања – рељеф физичке површи Земље и модулујућег подсистема – информатичка наука, технологија и стручњаци [4]. Рачунарска обрада података о рељефу зависи и од величине површине ДМР-а. Према просторном захвату, ДМР се може поделити у три основне групе:

- локални ДМР - формира се за изучавање и метричко дефинисање рељефа мањих површина за коришћење у радовима веће тачности;
- регионални ДМР - формира се за вишекорисничко, комплексно, интердисциплинарно изучавање већих површина Земљине површи; и
- глобални ДМР - формира се за глобалне практичне и научне потребе међународног значаја.

Величина ДМР-а одлучујуће утиче на избор осталих параметара, метода и поступака формирања и коришћења ДМР-а, као што су: метода прикупљања података, избор извора података, распоред улазних и референтних података, начин одржавања и допуњавања података, располагање рачунарском подршком и изворима података и слично. У 3Д моделовању потребно је обавити следеће радње у сврху израде ДМР-а, [5] и [6]:

1. Прикупљање података о рељефу, успостављање одговарајућих односа између резултата различитих мерења и израда основе ДМР-а.
2. Манипулисање подацима (обрада и прилагођавање, издвајање посредних модела и припрема за различите поступке примене, свођење података у једнинствене геодетске референтне системе и слично).
3. Интерпретација (издвајање корисних информација о одабраним морфометријским параметрима коришћењем различитих метода).
4. Анализа и визуелизација (фаза коришћења скупа метода и техника за извођење морфометријских параметара из израђеног ДМР-а).
5. Примена (развој одговарајућих апликација за специфичне сврхе, тј. у различитим научним, теоријско-практичним, практичним, цивилним, војним, инжењерско-техничким, геодетским, геофизичкм, геоморфолошким, картографским, фотограметријским, географским и сличним областима делатности) (Слика 1).



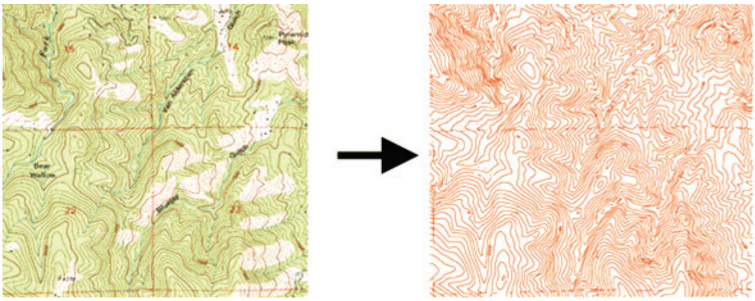
**Слика 1:** Дигитални модели рељефа (ДМР)

Стални напредак рачунарске технике и њена све шира распрострањеност доводе до потражње за све већом количином квалитетних и детаљних података нарочито о простору људске активности и објектима који их окружују. Последњих година начињен је велики помак у појави нових технологија за прикупљање података на терену које су омогућиле добијање високо квалитетних база података о рељефу. Податке за дигитални модел терена (ДМТ) добијамо:

а) превођењем у дигитални облик података постојећег картографског материјала (топографске карте и планови);
б) терестичким методама снимања терена (тахиметрија и ГНСС технологија);
в) коришћењем фотограметријске методе снимања терена;
г) ласерским снимањем терена (LiDAR) и
д) коришћењем радарске технологије снимања.

## 3. ДИГИТАЛИЗАЦИЈА ИЗОХИПСИ НА ОСНОВУ ТОПОГРАФСКИХ КАРАТА

Упркос распрострањености напредних техника дигитализовања и скенирања изохипси, подаци о изохипсама представљају облик визуелизације терена који није користан за моделе при нумеричкој репрезентацији површи. Генерисање ДМР-а за дату размеру генерално значи трансформисање свих информација расположивих са карте у структуру података која је погодна за опис површи одређеном деградацијом квалитета. Процес генерисања ДМР-а састоји се из два корака: први је прикупљање и моделовање геометријских података и други, екстракција и уградња геоморфолошких карактеристика (Слика 2).



**Слика 2:** Изохипсе на топографској карти и дигитализоване изохипсе

Прикупљање, моделовање геометријских података и генерисање ДМР-а састоји се из неколико фаза, и то [7]:

- скенирање репродукцијских оригинала (РО) изохипси,
- геореференцирање скенираног садржаја и векторизација и
- генерисање ДМР-а.

Тачност геометријских информација које карте носе зависи од квалитета математичких елемената карте (пројекције, размере), квалитета базе премера (геодетске мреже), методе прикупљања податка (тахиметрија, фотограметрија, ГПС снимање), врсте и квалитета мерних инструмента, а потом и од прибора и материјала, технолошких поступака картографске обраде и репродукцијске технике припреме, као и од деформација листова које настају у периоду њихове експлоатације [8].

## 4. ДИГИТАЛНИ МОДЕЛИ ВИСИНА И ЊИХОВА ПРИМЕНА У ВОЈНОЈ АНАЛИЗИ ТЕРЕНА

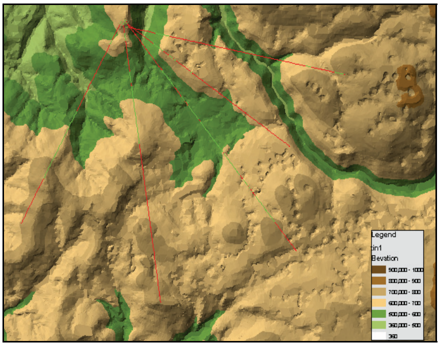
Глобални дигитални модели Земљине површине доступни на Интернету као што су GTOPO30, Digital Terrain Elevation Data (DTED ниво детаља 0), ДМР израђен током Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) мисије најчешће се користе за анализе рељефа у војне сврхе. Од јануара 2008. године, 60-метарски ДМТ целе ЕУ (укључује и Србију) може се наручити путем Eurogeographics. Релевантност и тачност анализе морфометријских параметра, рачунатих на основу растерског ДМТ, зависи од тачности и резолуције самога изворног модела висина [9].

Војногеографска анализа рељефа обухвата многе елементе, од којих коришћењем ДМТ на брз, ефикасан и прецизан начин може се сагледати:

1) Вертикална рашчлањеност рељефа која се разматра у позитивном и негативном (депресије) смеру. Вертикална рашчлањеност у позитивном смеру је комплекснија и разноврснија и има већи значај за војску и војне потребе.

2) Хоризонтална рашчлањеност рељефа кроз коју је потребно сагледати просторни распоред планинског и низијског рељефа. Хоризонтална рашчлањеност рељефа геопростора утиче на: усложавање извођења операција, честе промене носилаца борбених дејстава, кретање оклопних, механизованих и моторизованих јединица каналисаним на проходне правце, смањење темпа нападних дејстава, већи утошак времена, масовнију примену вертикалног маневра и друго.

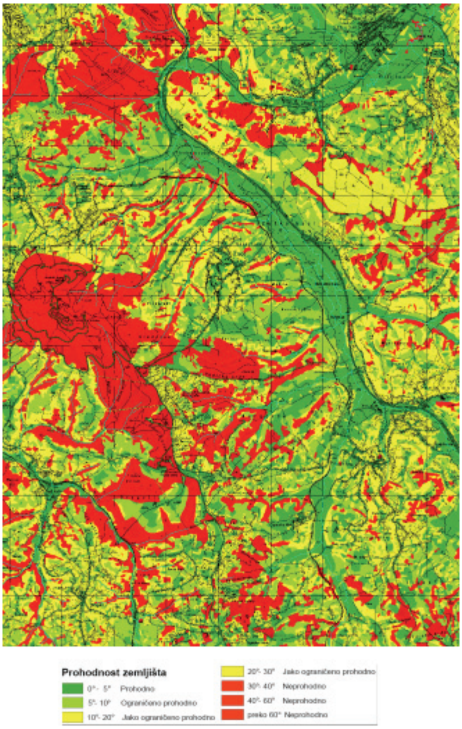
3) Одређивање видљивости терена, кроз анализу оптичке видљивости околног простора и непосредног догледања изабраних тачака (Слика 3) [10].



**Слика 3:** Оцена догледања објекта

4) Проходност геопростора је једна од најзначајнијих функција коју условљава рељеф. При сагледавању проходности могу се издвојити одређене варијанте тенкопроходности: до

5° нагиба земљиште је тенкопроходно; од 5 до 10° нагиба земљиште је ограничено тенкопроходно; од 10 до 30° нагиба земљиште је јако ограничено тенкопроходно и преко 30° нагиба земљиште је тенконепроходно (Слика 4) [11].



**Слика 4:** Процена тенкопроходности

5) Оријентација падина у односу на стране света, приликом војне анализе терена, има значај када нам је позната тактичка оријентација која укључује познавање распореда наших у односу на противничке снаге. Географским дефинисањем положаја противника и анализом оријентације падина у односу на стране света, могуће је одредити падине које су отворене, заклоњене или окренуте бочно у односу на снаге противника.

## 5. ЗАКЉУЧАК

ГИС софтвер користи дигиталну технологију за 3Д визуализацију, израду контура и анализу површине. ДМР је специјализована база података која приказује облик површине између тачака датог нивоа, састављеног помоћу интерполације висина података изведених из теренских истраживања и фотограметријске збирке засноване на правоуглој мрежи симулације. ГИС софтвер користи дигиталну технологију за 3Д визуализацију, израду контура и анализу површине. Рачунарска обрада података о рељефу зависи од величине површине ДМР-а. Он се може поделити у три основне групе према територијалном обухвату: локални, регионални и глобални ДМР. Избор осталих параметара, метода и поступака формирања и коришћења ДМР-а значајно зависи од његове величине.

Процес израде ДМР-а укључује неколико фаза, као што су прикупљање података о рељефу, манипулација подацима, интерпретација, анализа и визуализација, као и примена у различитим областима делатности. Напредак рачунарске технике и широка доступност довели су до потражње за све већим количинама квалитетних и детаљних података о простору људске активности и објектима који их окружују.

Подаци за ДМР се добијају превођењем постојећег картографског материјала у дигитални облик, терестиричким методама снимања терена, фотограметријском методом снимања терена, LiDAR и радарском технологијом снимања. Важно је напоменути да подаци о изохипсама, иако често коришћени за визуализацију терена, нису корисни за нумеричку репрезентацију површине.

За војну географску анализу рељефа, ДМР омогућава преглед вертикалне и хоризонталне рашчлањености рељефа, као и процену просторне расподеле планинског и низијског рељефа. Његова анализа може пружити информације о могућностима маневра, пролазности терена и другим аспектима од војног значаја.

ДМР има широку примену у различитим областима и омогућава детаљну анализу терена. Напредак у технологији прикупљања података омогућио је добијање висококвалитетних база података о рељефу, што даље доприноси прецизности анализа и примена ДМР-а.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Frangeš, S., Frančula, N., Lapaine, M. (2002). Budućnost kartografije. *Kartografija i Geoinformacije*, 1/1, Hrvatsko kartografsko društvo, Zagreb, str. 7-21.

[2] Fischer, M., Nijkamp, P. (1993). Geographic information systems, spatial modeling, and policy evaluation, Berlin; New York: Springer-Verlag.

[3] Бајат, Б. (2003). Дигитални модел терена – примарна геоморфометријска база података у ГИС-у. *Глобус*, 34/28, стр. 187-198.

[4] Вишњић, Р. (2000). Математичка основа обликовања дигиталног модела рељефа. *Војнотехнички гласник*, 48/6, стр. 601-611.

[5] Weibel, R., Heller, M. (1991). Digital Terrain Modeling. *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, Longman, London.

[6] Polidori, L., El Hage, M. (2020). Digital Elevation Model Quality Assessment Methods: A Critical Review. *Remote Sensing*, 12(21), 3522. doi:10.3390/rs12213522.

[7] Борисов, М., Банковић, Р. (2003). Дигитални модел терена за размеру 1:50 000. *Зборник радова*, Војногеографски институт, Београд, стр. 23-35.

[8] Бајат, Б., Штрбац, Д. (2005). Утицај извора података на тачност дигиталног модела терена. *Гласник СГД*, СВ LXXXV/1, Београд, стр. 265-280.

[9] Гиговић, Љ. (2010). Дигитални модел висина и њихова примјена у воној анализи терена. *Војнотехнички гласник*, 58/2, стр. 165-178.

[10] Гиговић, Љ., Секуловић. Д. (2008). Војно-географска анализа рељефа применом ГИС технологије, (пленарно предавање), AT 11TH INTERNATIONAL CONFFERENCE ON DEPENDABILITY AND QUALITY MANAGEMENT (ICDQM-2008). *Зборник радова*, Београд, стр. 842-846.

[11] Борисов, М., Банковић, Р., Дробњак, С. (2011). Евалуација морфометријских карактеристика земљишта при изради карте тенкопроходности. *Војнотехнички гласник*, 59/1, стр. 62-80.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# КЛАСИФИКАЦИЈА VFR ВАЗДУХОПЛОВНИХ КАРТА И ЊИХОВА ИЗРАДА У ГЕОИНФОРМАЦИОНОМ ОКРУЖЕЊУ

# CLASSIFICATION OF VFR AERONAUTICAL CHARTS AND THEIR PRODUCTION IN A GEOINFORMATION ENVIRONMENT

МАРКО СИМИЋ[1], ЈАСМИНА М. ЈОВАНОВИЋ[2], МАРИЈА СТОЈАНОВИЋ[3], МИХАЈЛО БОБАР[4], ВЛАДИМИР ВУЧЕНОВ[5]

[1] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, marko.simic@vs.rs
[2] Универзитет у Београду – Географски факултет, Београд, jasmina.jovanovic@gef.bg.ac.rs
[3] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, marijasmaki996@gmail.com
[4] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, bobarmihajlo96@gmail.com
[5] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, vvucenov@gmail.com

***Резиме:*** *Ваздухопловне карте представљају сет карата које се користе у процесу планирања лета и као помоћ у навигацији летелице током свих фаза лета. За безбедно обављање ваздушних операција по правилима визуелног летења (VFR) од суштинског је значаја да актуелни, свеобухватни и меродавни извори навигационих информација буду увек доступни, а ваздухопловне карте представљају погодан медијум за пружање оваквих информација на управљив, сажет и координисан начин. Ваздухопловне карте захтевају високу тачност и ажурност података како би могле да се користе у ваздухопловној навигацији и како би безбедан лет био могућ. Геоинформациони системи представљају идеално решење ових захтева и омогућавају креирање и одржавање квалитетних података неопходних за анализу и израду стандардизованих ваздухопловних карата. Будућност ваздухопловне картографије повезана је са структуром база података повезаних са ГИС-ом који омогућавају крајњем кориснику да састави сопствену карту за навигацију на дигиталним платформама, напуштајући све, или скоро све, папирне формате. Публикације слојева информација на web-у постају све значајнија за кориснике географских информација.*

***Кључне речи:*** *Ваздухопловне Карте, ГИС, Картографија.*

***Abstract:*** *Aeronautical charts are a set of charts used in the flight planning process and as an aid in aircraft navigation during all phases of flight. For the safe performance of VFR (Visual Flight Rules) air operations, it is essential that current, comprehensive, and authoritative sources of navigational information are always available, and aeronautical charts are well suited for providing this type of information in a manageable, concise, and coordinated manner. Aeronautical charts require high accuracy and up-to-date data to be used in air navigation and to ensure a safe flight. Geoinformation systems represent an ideal solution to these requirements and enable the creation and maintenance of quality data necessary for the analysis and production of standardized aeronautical charts. The future of aeronautical cartography is linked to a structured database linked to GIS that allows the end user to compile their navigation map on digital platforms, disemploying all, or almost all, paper formats. Publications of layers of information on the web are becoming more and more important for users of geographic information.*

***Keywords:*** *Aeronautical Charts, GIS, Cartography.*

## 1. УВОД

Ваздухопловне карте (ВК) пружају пилоту важне информације о карактеристикама рељефа, топографским детаљима и ваздухопловном садржају. Користе се у планирању и током лета. Курс лета уноси се на ВК у процесу планирања, а пилоти током лета, помоћу инструмената, различитим методама одређују своју тренутну локацију и врше корекције у односу на испланирани курс. Поред инструмената могуће је извршити оријентацију и помоћу карактеристичног, лако уочљивог из ваздуха, садржаја приказаног на ВК (оријентири, градови, главни путеви, високи објекти и др.). Поред тога што пружају дводимензионалне (2Д) информације кориснику, као и већина карата, приказују и тродимензионалне (3Д) информације о ваздушном саобраћају. Циљ ВК је да истакне кључне карактеристике пилотима, како би могли безбедно да се крећу од једне до друге радне тачке, узимајући у обзир терен, временске прилике, препреке и друге атрибуте.

Ове карте захтевају високу тачност и ажурност података, како би могле да се користе у ваздухопловној навигацији и да омогуће безбедан лет. Геоинформациони системи (ГИС) представљају идеално решење и омогућавају креирање и одржавање квалитетних података неопходних за анализу и израду стандардизованих ВК. Подаци се складиште просторно, задржавајући геометријски интегритет који је веома важан за ваздухопловно картирање. ГИС омогућава да се подаци креирају, уређују и чувају на централизован начин, чиме се смањује вероватноћа грешака, а подаци су увек спремни за даљу употребу. Такође, омогућава управљање великим базама података о препрекама и терену што знатно олакшава њихово редовно ажурирање. Све карте се чувају у заједничкој бази података, а подаци се након једог ажурирања могу користити у изради различитих производа (ВК, публикације ваздухопловних информација, електронске публикације и др.). Ово чини податке интероперабилним, смањује могућност грешака, поједностављује токове рада, омогућава дељење података у целој организацији и сажима квантитет података, које је потребно физички складиштити, чиме се смањују трошкови. Приликом израде ВК од велике важности су порекло и тачност података, као и да ли је извршена провера њиховог квалитета. ГИС обезбеђује контролу квалитета и преглед података у ходу, како би увид у начин и време уређивања података и праћење напредка пројекта било олакшано.

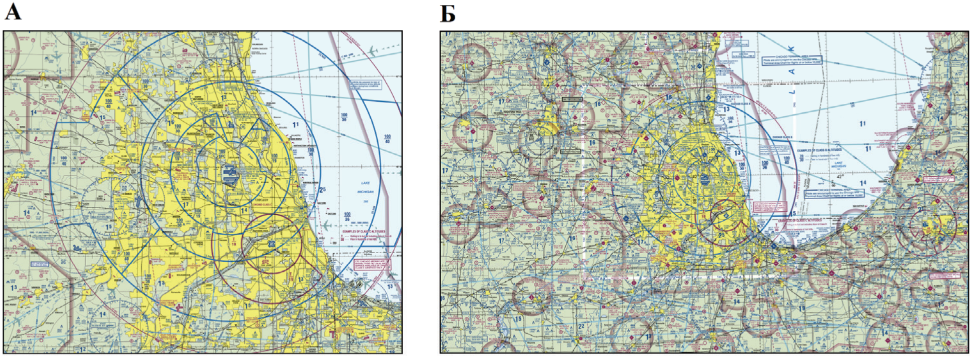
## 2. КЛАСИФИКАЦИЈА VFR ВАЗДУХОПЛОВНИХ КАРАТА

Правила визуелног летења (енг. Visual Flight Rules - VFR) односе се на скуп правила за лет приликом метеоролошких услова који дозвољавају визуелно летење. Контролори ваздушног саобраћаја нису увек обавезни да одржавају дистанцу између VFR авиона. Та одговорност искључиво припада пилоту, што од њега захтева да у сваком тренутку буде у стању да види испред и око свог авиона. Из тог разлога, ова правила такође обухватају одређене захтеве видљивости и критеријуме чистоће облака који су неопходни за лет са визуелном референцом на тло и хоризонт. Ови захтеви варирају у зависности од врсте ваздушног простора у којем се лети и постоје како би обезбедили сигурност летелица и спречили сударе због лоше видљивости [1].

Као помоћ у навигацији ваздухоплова који лете по правилима визуелног летења користе се VFR ваздухопловне карте. Оне су најсличније топографским картама, јер се на њима, поред ваздухопловног садржаја, приказује мноштво географских елемената. Разлог је што су то маркантни географски објекти, лако су уочљиви из ваздуха (нпр. велике реке, аутопутеви, ветропаркови и др.) и знатно олакшавају оријентацију приликом визуелног лета. Ове навигационе карте могу се на основу својих карактеристика, размере и намене поделити на: терминалне карте подручја 1:250.000, ВК 1:500.000 (односно секционалне ВК), светске ВК 1:1.000.000, навигационе ВК ситне размере, ВК хеликоптерских рута и карта визуелног приласка.

Терминалне карте подручја су размере 1:250.000 и приказују ваздушни простор класе B. Оне приказују више детаља од стандардних ВК, јер су веће размере. Намењене су пилотима који полећу са или слећу на аеродром, који се налази унутар, или је у непосредној близини ваздушног простора класе B или C [2] (Слика 1-А).

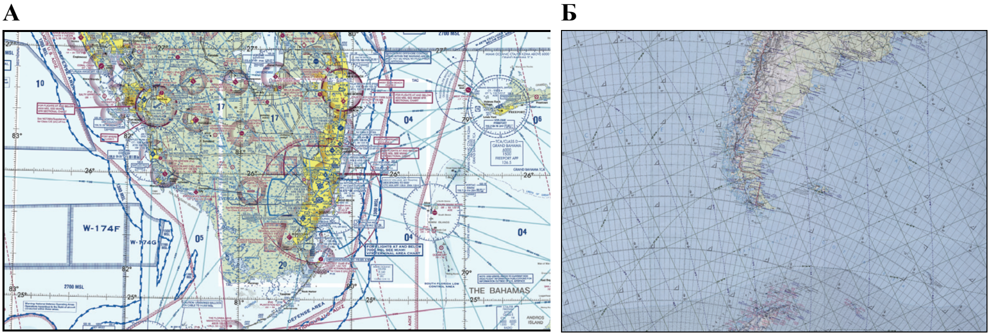
На ВК 1:500.000 приказано је више детаља него на светској и навигационој ВК, што је чини одличном картом за обуку у навигацији. Најпогоднија је за генерално визуелни лет у авионима мале брзине, кратког или средњег домета који лете на малим и средњим висинама [3]. Информације о терену су представљене на овим картама помоћу контурних линија, осенченог рељефа, шема дренаже и великог броја оријентира и визуелних контролних тачака који се користе за VFR лет. Такође, приказују се градови, насеља, путеви, пруге, природне и културне знаменитости, државне границе, водене површине и обалне линије. Ваздухопловне информације које су представљене укључују визуелна и радио помагала за навигацију, аеродроме, контролисани ваздушни простор, ваздушни простор за специјалну употребу и препреке [2]. ВК 1:500.000 може се користити као основна ВК у обуци пилота и/или као допуна специјализованим ВК које не приказују битне визуелне информације, као и у планирању лета [4] (Слика 1-Б).



**Слика 1:** Исечак терминалне карте подручја 1:250.000 (А) [5] и ВК 1:500.000 (Б) [6]

Садржај светске ВК 1:1.000.000 обезбеђује потпуну покривеност геопростора света ваздухопловним подацима униформно приказаним на свим територијама и у истој размери. Она се може користити као основна ВК, као допуна специјализованим ВК које не приказују битне визуелне информације, за израду других ВК и у планирању летова. На њој се приказују контурне линије, рељеф помоћу хипсометријске скале, природне и културне знаменитости, градови и насеља према својој релативној важности за визуелну навигацију, значајнији путеви и пруге, водене површине, обалне линије и међународне границе. Од ваздухопловних информација на овој карти се приказују аеродроми, препреке, забрањене и опасне зоне, систем услуга ваздушног саобраћаја, помоћни симболи у радио навигацији и додатне информације од значаја [4] (Слика 2-А).

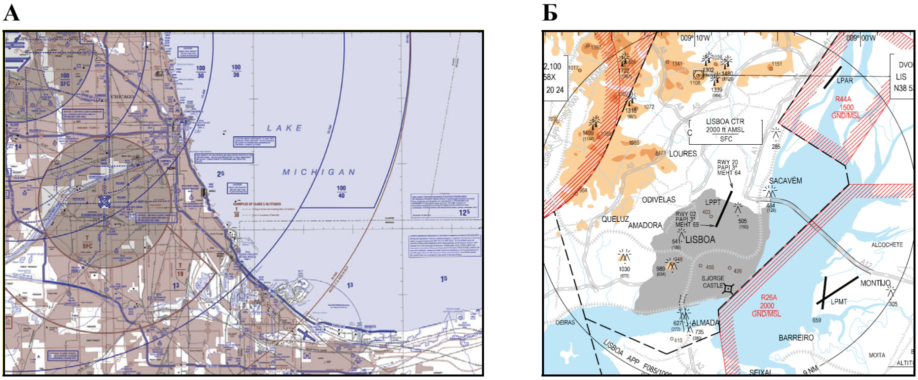
Навигациона ВК ситне размере представља најситнију ВК намењену за VFR летове и намењена је као помоћно средство у ваздухопловној навигацији за посаде авиона великог домета који лете на великим висинама [3]. Осигурава селективне контролне тачке на великим раздаљинама намењене за идентификацију на великим висинама и при великим брзинама, које су потребне за визуелну потврду положаја. Обезбеђује и сталну визуелну референцу на тло током далеких летова изнад области у којима недостају радио и друга електронска навигациона помагала, или изнад области где је визуелна навигација неопходна или пожељнија од инструменталне. Користе се приликом планирања дугих летова. Размера ових карата је од 1:2.000.000 до 1:5.000.000. Од географских елемената приказани су путеви, пруге, градови и насеља према својој релативној важности за визуелну навигацију, природне и културне знаменитости, водене површине, обалне линије и међународне границе. Од ваздухопловних информација приказују се аеродроми, препреке, забрањене и опасне зоне, елементи система услуга ваздушног саобраћаја и помоћни симболи у радио навигацији [4] (Слика 2-Б).



**Слика 2:** Исечак светске ВК 1:1.000.000 (А) [7] и глобалне навигационе ВК 1:5.000.000 (Б) [8]

Ваздухопловна карта хеликоптерских рута приказује актуелне ваздухопловне информације корисне пилотима хеликоптера који лете у подручјима са високом концентрацијом хеликоптерских активности. Приказују се руте хеликоптера, четири класе хелидрома са својим фреквенцијама и могућностима осветљења, препреке и радио-навигациони уређаји. Поред тога, приказани су путеви и лако уочљива и препознатљива географска обележја. Размера ове ВК је 1:125.000 [2] (Слика 3-А).

Карта визуелног приласка пружа неопходне информације пилотима да слете на писту приказаног аеродрома помоћу визуелне референце. Карта приказује основни распоред у оквиру аеродрома и његове околне карактеристике које се лако препознају из ваздуха. Поред оријентације, сврха ових карата је и истицање потенцијалних опасности, као што су препреке, високи терени и подручја опасног ваздушног простора [3]. Неопходно је да размера карте омогући приказ значајних карактеристике аеродрома и индицира њихов распоред, зато не би требало да буде ситнија од 1:500.000. Препоручена размера од стране Међународне организација цивилног ваздухопловства (енг. International Civil Aviation Organization - ICAO) је 1:250.000 и 1:200.000. На картама се приказују природне и културне знаменитости, обалне линије, језера, реке, потоци и рељеф на начин који најбоље одговара надморској висини и карактеристикама препрека картираног подручија. Од ваздухопловних информација приказују се аеродроми, препреке, забрањене, опасне и контролне зоне, информације о визуелном прилаcку и помоћни симболи у радио навигацији [4] (Слика 3-Б).



**Слика 3:** Исечак ВК хеликоптерских рута 1:125.000 (А) [9] и ВК визуелног прилаcка 1:250.000 (Б) [10]

## 3. ИЗРАДА VFR ВАЗДУХОПЛОВНИХ КАРАТА У ГЕОИНФОРМАЦИОНОМ ОКРУЖЕЊУ ОКРУЖЕЊУ

ГИС представља софтверски системи за прикупљање, складиштење, управљање, манипулацију, анализу и визуелизацију географских или просторних података. База података састоји се од запажања о просторно распоређеним карактеристикама, активностима или догађајима, који су дефинисани у простору као тачке, линије или области. ГИС управља подацима о овим тачкама, линијама и областима, како би добио податке за задате упите и анализе [11].

Савремени напредак у картографији заснованој на ГИС-у олакшава креирање великог броја ВК веома брзо, коришћењем аутоматизованих техника, након што се успостави база података и направе шаблони ВК. Подаци смештени у овим базама могу се поделити на топографску основу (рељеф, хидрографија, комуникације, насељена места, објекти, границе и географски називи) и ваздухопловне информације (препреке, аеродроми, радио-навигационе информације, информације о службама ваздушног саобраћаја, ваздухопловне зоне, руте лета и максимална надморска висина). Шаблони ВК и симбологија ваздухопловних информација се најчешће израђују по спецификацијама, правилима и препорукама ICAO. Међутим неке државе (нпр. САД) их израђују по сопственим стандардима [12]. Приликом употребе података из базе у изради карте неопходно је извршити проверу њихове позиционе тачности у односу на сателитске или фотограметријске снимке. Такође се проверавају њихове атрибутне информације са податцима прикупљеним из различитих извора, укључујући државне и локалне власти, публикације и старије карте [13]. Након тога, потребно је извршити и теренску проверу података, како би се побољшала тачност информација о инфраструктури и комуникацијама и извршилао уопштена провера валидност података. Нарочито је битна визуелна провера препрека за летење, коју би требало извршити из ваздуха. Препоручено је да се ова провера врши сваке четири године или чешће, како би подаци увек били ажурни [14]. Формална валидација података предузима се како би се осигурало да подаци испуњавају захтеве квалитета дефинисане у спецификацији базе података. Топографска основа и њена симбологија могу се делимично, или у потпуности, преузети са одговарајућих топографских карата, како би се уштедели ресурси и време.

Традиционални начин израде ВК у штампаној форми (на папиру) или коришћењем затворених дигиталних система различитих приватних провајдера, што обично подразумева скупа периодична ажурирања и ограничава приступ поузданим подацима, ствар је прошлости. Развој различитих иницијатива које теже интероперабилности ваздухопловних база података има за циљ, успостављање тачних, употребљивих и доступних средстава за дељење ваздухопловних информација, од којих је већина оријентисана на дистрибуцију помоћу ГИС-а. Ово представља концептуални и технолошки оквир за развој нових метода дистрибуције и визуелизације ваздухопловних географских информација [15].

## 4. ЗАКЉУЧАК

Од стварања прве ваздухопловне карте до данас, развој ваздухопловне картографије прошао је кроз многе фазе, а узрок томе је стално побољшање технологија навигације и развој нових и безбеднијих ваздухоплова, конструисаних за прелазак све већих дистанци. То је довело не само до развоја и усавршавања постојећих ВК, већ и до креирања различитих врста нових карата специјализованих за одређене процедуре. Ово је изискивало узастопно развијање и процеса и технологија израде ВК.

Савремено решење је пронађено у ГИС-у, који повећава ефикасност израде ВК у односу на традиционалне производне системе тако што централизује информације, пружа алате за управљање ваздухопловним информацијама, своди унос података на миниму а максимизира њихову искоришћеност. Имплементација ГИС-а омогућава бржи ток посла, лакше одржавање података и економичност у виду могућности израде више различитих производа (дигиталних и штампаних) из једне базе података. Након успостављања базе података, ГИС омогућава аутоматизацију картографске симбологије, постављања назива и прављења окружења карте, тако да је картограф у могућности да релативно брзо креира карте.

За безбедно обављање ваздушних операција од суштинског је значаја да актуелни, свеобухватни и меродавни извори навигационих информација буду увек доступни, а ВК уз подршку ГИС-а представљају погодан медијум за пружање оваквих информација на управљив, сажет и координисан начин.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] International Civil Aviation Organization, (2005). Annex 2 - Rules of the Air, 10th Edition.

[2] Federal Aviation Administration, (2023). Types of Charts Available, Aeronautical Charts and Related Publications, https://www.faa.gov/air_traffic/publications/atpubs/aim_html /chap9_section_1.html.

[3] Abeyratne, R. (2012). *Air Navigation Law*, Berlin: Springer Verlag.

[4] International Civil Aviation Organization, (2009). Annex 4 - Aeronautical Charts, 11th Edition.

[5] TAC 1:250 000: CHICAGO, FAA, 2022, https://aeronav.faa.gov/visual/11-03-2022/PDFs/Chicago_TAC.pdf.

[6] Sectional Aeronautical Chart 1:500.000: CHICAGO, FAA, 2022, https://aeronav.faa.gov/ visual/11-03-2022/PDFs/Chicago.pdf.

[7] VFR Aeronautical Charts 1:1.000.000: Caribbean 1, FAA, 2022, https://aeronav.faa.gov/ visual/11-03-2022/PDFs/Caribbean_1_VFR.PDF

[8] GNC 1:5.000.000: 24, Defence Mapping Agency, 1985, https://www.atlasofplaces.com /cartography/ global-navigation-planning-charts/#figure-2

[9] Helicopter Route Chart 1:125.000: CHICAGO HELICOPTER, FAA, 2022, https://aeronav.faa.gov/visual/11-03-2022/PDFs/Chicago_Heli.pdf

[10] Visual Approach Chart - ICAO 1:250 000: LISBOA, Humberto Delgado; NAV Portugal, 2022, https://charts.portugal-vacc.org/files/LP_AD_2_LPPT_13-1_en.pdf

[11] Xuan, Z. (2014) GIS and Urban Mining. *Resources*, 3(1), 235-247.

[12] Teodoro, R., Vicente, N., Ferreira, J., Fernandes, J. and Catita, C. (2016). A gis-based infrastructure for the production of the official aeronautical chart. *Proceedings, 6th International Conference on Cartography and GIS,* Albena, Bulgaria, 13-17 June 2016, 538-550.

[13] Ammar, E., Behairy, A. and Habibi, A. (2016). Gis cartography for topographic maps series. *Proceedings, 6th International Conference on Cartography and GIS,* Albena, Bulgaria, 13-17 June 2016, 704-711.

[14] Federal Aviation Administration, (2021). Aeronautical Chart Users' Guide.

[15] Siabato, W., Moya-Honduvilla, J. and Bernabé-Poveda, A. M. (2016). Supporting Aeronautical Information Management (AIM) Through Geographic Information Technologies and Spatial Data Infrastructures (SDI). *International Journal of Applied Geospatial Research,* 7(3), 1-37.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ГЕОПОРТАЛ ВГИ – СЕРВИС ЗА ПУБЛИКОВАЊЕ, ПРИКУПЉАЊЕ И КОНТРОЛУ КВАЛИТЕТА ГЕОПРОСТОРНИХ ПОДАТАКА

# GEOPORTAL VGI – SERVICE FOR PUBLISHING, COLLECTION AND QUALITY CONTROL OF GEOSPATIAL DATA

МАРКО СТОЈАНОВИЋ[1], ЈАСМИНА М. ЈОВАНОВИЋ[2], ЈЕЛЕНА САВИЋ[3],
АЛЕКСАНДАР ПАВЛОВИЋ[4], САША МИЛ. СТАНКОВИЋ[5]

[1]Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, stojanovicm80@yahoo.com
[2]Универзитет у Београду – Географски факултет, Београд, jasmina.jovanovic@gef.bg.ac.rs
[3]Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, jelenasavic1903@gmail.com
[4]Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, aleksandar.pavlovic@vgi.mod.gov.rs
[5]Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, ziger71@gmail.com

---

***Резиме:*** *Развој ГИС-а иницирао је и развој многобројних софтверских платформи. Дигитализацијом производног процеса израде ГТМ у ВГИ, створени су услови за израду једне овакве платформе. У раду су представљене теоријска основа и практична примена Геопортала ВГИ у функцији сервиса за публиковање, прикупљање и контролу квалитета производа ВГИ.*

***Кључне речи:*** *Геопортал, Геопросторни податак, Топографска карта, ГИС.*

***Abstract:*** *The development of GIS also initiated the development of numerous software platforms. By digitizing the production process of creating GTM in VGI, conditions were created for the creation of one of these platforms. The paper presents the theoretical basis and practical application of the VGI Geoportal as a service for publication, collection and quality control of VGI products.*

***Keywords:*** *Geoportal, Geospatial data, Topographic map, GIS.*

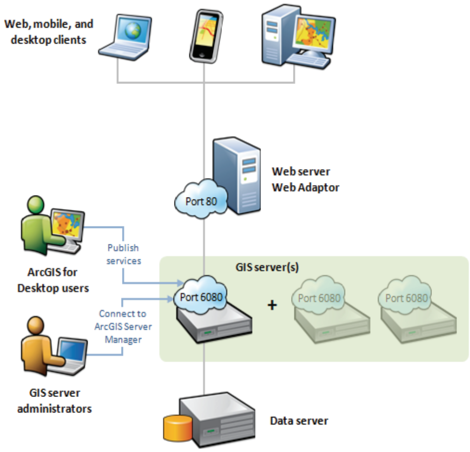
---

## 1. УВОД

Од постојања па до данас, основни задатак Војногеографског института – „Генерал Стеван Бошковић“ (ВГИ) била је израда геотопографских материјала (ГТМ). Пратећи савремене трендове и технолошка достигнућа, ВГИ је мењао процедуре израде ГТМ. Најзначајнија промена десила се 90-их година прошлог века, када је започета дигитализација геопросторних података. У овом периоду, вршена је векторизација скенираних аналогних топографских карата у софтверима који су подржавали технологију тога времена. Десетак година касније, дефинисан је модел за израду дигиталне топографске карте размере 1:25.000 (ДТК25) у персоналним базама података помоћу софтверске платформе *ArcGIS*. Током 2012. године набављен је неопходни хардвер и надограђен софтвер, чиме су испуњени услови за успостављање дигиталне технолошке линије за израду ДТК25, која се базира на централној бази података. Геопросторни подаци, организовани у централну базу, могу се штампати, дистрибуирати путем преносних медија или публиковати путем *Web* сервиса. Управо овај сервис је био недостајућа карика у производном процесу и са његовом реализацијом је отпочето 2020. године под називом „Геопортал ВГИ“. Основна намена овог сервиса је да се обезбеди савремени начин публиковања ГТМ које ВГИ израђује. Током рада на успостављању сервиса дошло се до закључка да је помоћу њега могуће вршити прикупљање и контролу квалитета геопросторних података.

## 2. КРИТЕРИЈУМИ ЗА ИЗРАДУ ГЕОПОРТАЛА ВГИ

Основни циљ и намена Геопортала ВГИ је успостављање савременог система за публиковање и дистрибуцију дигалних ГТМ које ВГИ израђује. Сходно намени, Геопортал ВГИ треба да испуњава одређене захтеве по питању расположивости, организације података, перфоманси, коришћења опште прихваћених стандарда, могућности проширења и унапређења и сл. За спровођење идејног решења коришћена је генерална архитектура *ArcGIS Server System*, чије су компоненте и организација приказане на Слици 1. Целокупна архитектура система Геопортала ВГИ се састоји из четири основна слоја и три компоненте. Слојеви и компонете су важни делови система и имају велики утицај на интеграцију.



**Слика 1:** Генерална архитектура *Arc GIS Server System* [1]

<u>Основни слојеви система [2]:</u>

- Клијентски слој је апликација којом клијент комуницира са системом, базирана на HTML и JavaScript-у и конципирана на модерним Web претраживачима,
- Презентациони слој се састоји од две главне Web апликације (корисничке и администраторске) које заједно са осталим апликацијама креирају контроле клијентског слоја и повезани су са истим путем HTML механизма, док је са сервисним слојем повезан путем SOAP (Simple Object Access Protocol) Web сервиса,
- Сервисни слој се састоји од пет сервиса (безбедности, мапирања, геопросторних података, каталога метаподатака и ауторизациони сервис) који имају улогу да потпуно дефинишу логику система и основне функције које су на располагању корисницима,
- Слој података је систем за складиштење свих података којима Геопортал ВГИ располаже (ГТМ, метаподаци и подаци о корисницима су главне врсте података).

<u>Компоненте сачињавају [2]:</u>

- Систем за управљање геопросторним подацима и картографску обраду представља скуп свих потребних алата за несметан унос различитих података у систем и заштиту квалитета,
- Сервис који омогућава коришћење геопросторних Web страница које су постављене од стране спољних корисника и чине саставни део система,
- Сервис који омогућава повезивање са другим апликацијама (пре свега са државним органима као што су МУП, РГЗ, Коридори Србије, Путеви Србије, ЕМС и сл.).

Пројектовани систем се описује путем четири модела приказа портала: пословни модел, информациони модел, функционални модел и технолошки модел.

**Пословни модел** описује систем са гледишта корисника и пословних процеса. Превасходно, то се односи на најважније процедуре приступа подацима и могућности њиховог коришћења, али и сам приказ пробног дизајна страница Геопортала ВГИ. Размена података кроз Геопортал ВГИ реализује се на два начина. Први начин подразумева пренос података путем сервиса, где корисник проналази сервис који га интересује и приступа истом путем *URL* (*Uniform Resource Locator*). Други начин подразумева пренос података на рачунар или преносне медије путем екстракције података.

**Информациони модел** дефинише портал из перспективе информација и садржи детаљан преглед података којима располаже Геопортал ВГИ. За његово функционисање најважније су три групе података: метаподаци, геопросторни подаци и подаци о корисницима система и услуга. Метаподаци дају информације о геопросторним подацима и сервисима. Помоћу њих, корисник лакше проналази податке који су му потребни. Они се чувају у стандардној релационој бази података и креирају се за податке, скупове података, сервисе и апликације. Геопросторни подаци имају стандардизовану структуру у растерским и векторским формама, јер је Геопортал ВГИ независтан од самих података и не намеће им структуру. Приликом планирања, предвиђена су три сета ГТМ: растерски (ортофото снимци, скениране топографске карте, скенирани катастарски и други планови и др.), векторски и формат дигитални модел терена (ДМТ). Корисници имају могућност штампе, преузимања и екстракције одабраног подручја у било ком формату, у складу са овлашћењима.

**Функционални модел** је базиран на функционалној комуникацији између компоненти које чине примењене сервисе. Модел се састоји од сервисно оријентисане архитектуре и шест функција. Сервисно оријентисана архитектура је шема повезивања више независних функција на основу којих је могуће формирање јединственог информационог решења. Помоћу ове архитектуре, креирани сервиси имају могућност да објављују опис својих функционалности, како би их учинили доступним вишим нивоима архитектуре система. Функције које чине овај модел су:

- Функција интерактивне карте – омогућава преглед, коришћење сервиса мапирања и претрагу објеката,
- Каталог метаподатака,
- Функција одржавања метаподатака – омогућава администраторима и овлашћеним корисницима да одржавају базе метаподатака,
- Функција ауторизације корисника – дефинише процедуре које корисник мора да прође како би приступио Геопорталу ВГИ у складу са привилегијама,
- Функција безбедности сервиса – подразумева сервис за безбедност који пружа међуслој између сваког OGC сервиса и корисника, филтрира захтеве, проверава ауторизацију и тако блокира или омогућава приступ,
- Функција управљања корисницима и групама – омогућава администратору система да управља корисницима, корисничким групама, ролама и др.

**Технолошки модел** је конципиран на четири основна слоја и приказан је са гледишта имплементације ових слојева. Имплементација клијентског слоја подразумева креирање овог слоја на *Web* претраживачима у складу са свим стандардима и препорукама. Имплементација презентационог слоја подразумева креирање овог слоја у форми модуларне *Web* апликације путем које слој комуницира и са слојем сервиса, па је тако независтан од имплементације слоја сервиса. Имплементација слоја сервиса подразумева креирање слоја сервиса у форми *Web* сервиса и за комуникацију се углавном користе *OGC* протоколи. Имплементација слоја података подразумева креирање слоја података који се складиште у релационој бази или *file* систему, што зависи од врсте података, меморијског захвата и/или динамике ажурирања.

## 3. КОНЦЕПТУАЛНО РЕШЕЊЕ И ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ГЕОПОРТАЛА ВГИ

Дигитални производи ВГИ (растерски и векторски подаци, ДМТ) чине добру основу за примену савремених технолошких принципа у области ГИС-а. Дистрибуција ових података, у данашњем времену, води ка креирању *Web* сервиса, односно креирању геопортала. Уважавајући дефинисане критеријуме за успостављање Геопотрала ВГИ и сагледавајући неопходне ресурсе за њихово испуњење, потребно је обезбедити и имплементирати компоненте и активности приказане у Табели 1.

**Табела 1:** Приказ активности и компоненти потребних за израду Геопортала ВГИ [1]

| Назив активности – компоненте | |
|---|---|
| Хардвер | Систем за складиштење података |
| | Сервер за *Web* компоненту и базу података |
| | Сервер за софтверску платформу |
| | Активна мрежна компонента |
| Софтверска платформа | ГИС сервер |
| | Сервер сликовних података |
| | Софтвер за администрацију геопотрала |
| | *SSL* сертификат |
| Израда Геопортала ВГИ | Услуга израде имплементације и прилагођавања презентационог слоја софтверске платформе портала |
| Обука и израда корисничке документације | Тренинг |
| | Израда корисничке документације |

За успостављање Геопортала ВГИ потребне су серверске и мрежне компоненте са карактеристикама које задовољавају критеријуме расположивости и скалабилности. Такође, неопходно је обезбедити меморијски простор за складиштење дигиталног ГТМ.

Софтверску платформу Геопортала ВГИ представља скуп софтверских решења који служе као веза између презентационог слоја и слоја података. Омогућава публиковање стандардних ГИС сервиса и повезивање са другим ГИС системима и корисницима [3].

У циљу постизања што веће редундантности серверских компоненти и максимизације расположивости целог система, уведена је витруализациона технологија. Као платформа за виртуализацију коришћено је софтверско решење *VMware VpShere* и *hypervisor ESXi*. Помоћу њега је ојачано рачунарско окружење за савремене апликације, максимално искоришћене могућности хардвера и обезбеђена редундатност података [4].

## 4. ПРИКАЗ ГЕОПОРТАЛА ВГИ

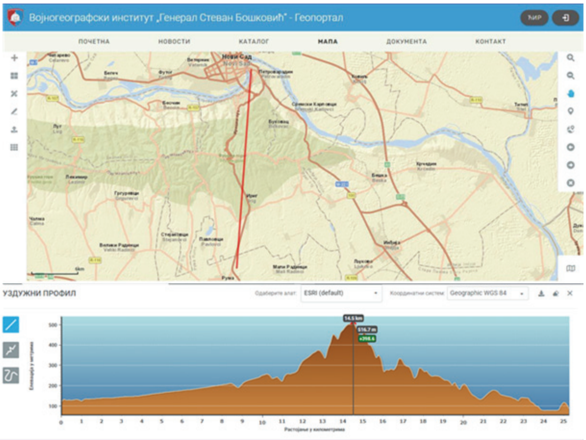
Геопортал ВГИ није *open source* портал, што значи да не допушта да било који корисник мења, преправља, па чак ни да побољшава садржај самог портала, него постоји могућност да се путем посебних форми унапређује квалитет садржаја (графички и атрибутивни). Сам Интернет интерфејс овог сервиса је базиран на *GDi Ensemble Smart Portal* – платформи за креирање *Web* ГИС апликације фирме *GDi GISDATA* из Београда.

*GDi Ensemble Smart Portal* апликација омогућава на једноставан начин, без потребе за познавањем програмирања, креирање напредних апликација. Помоћу ове апликације могу се прикупљати, складиштити, анализирати и приказивати геопросторни подаци.

*GDi Ensemble Smart Portal* конфигуратор (*Visios*) је једна од две апликације које чине логичку целину при креирању *Web* ГИС апликације. Пре самог коришћења конфигуратора, потребно је организовати и извршити администрацију корисника *Visios*, лиценци и назива *Visios*, привилегије над *Visios*, рола које ће се додељивати тим корисницима и сл. [4].

Странице Геопортала ВГИ су креиране применом *GDi Ensemble Smart Portal* конфигуратора. Све странице имају исти изглед и садрже картице који представљају линкове ка осталим страницама. Странице Геопортала ВГИ су: почетна страна, новости, каталог метаподатака, прегледник мапе, документа и контакт.

На страници „МАПЕ” могуће је користити алате који су дефинисани приликом конфигурације. Употреба ових алата је ограничена у зависности од категорије корисника. Неки од доступних алата су: додавање сервиса, избор подлоге интерактивне карте, различита врста мерења, разне врсте цртања, увоз података, временске прилике, штампање, одређивање уздужног профила терена (Слика 2) и сл. Коришћење алата је веома једноставно, постоје објашњења приликом коришћења и зато је приступачан корисницима било којег нивоа образовања.



Војногеографски институт „Генерал Стеван Бошковић" - Геопортал

УЗДУЖНИ ПРОФИЛ

Одаберите алат: ESRI (default)

Координатни систем: Geographic WGS 84

**Слика 2:** Приказ уздужног профила између Руме и Новог Сада [1]

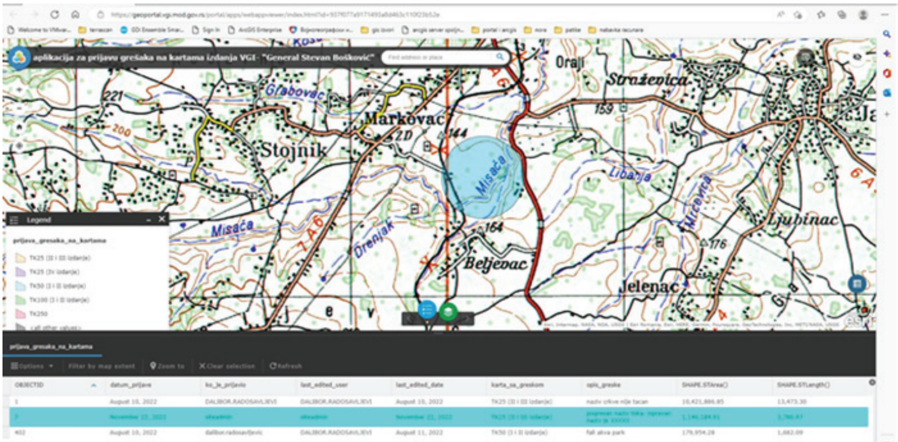
## 5. ПРИКУПЉАЊЕ И КОНТРОЛА КВАЛИТЕТА ГЕОПРОСТОРНИХ ПОДАТАКА

Квалитет се у производном процесу израде ГТМ односи на услове које аналогна карта мора да поседује (тачност, ажурност, визуелни идентитет и др.), али и на квалитет података садржаних у бази, која представља основу за публиковање. У складу са планирањем квалитета, производни процес израде ГТМ развијен у ВГИ је базиран на дистрибуираним базама податка у окружењу софтверског пакета *ArcGIS* фирме *ESRI*. Током успостављања производног процеса, тежишни аспект је стављен на крајњег корисника. Сам процес је отворен, односно флексибилан, што омогућује даљи напредак у повећању квалитета. Приликом управљања квалитетом тежиште је стављено на организационе целине које се баве примарним прикупљањем и обрадом података, чија је улога јасно дефинисана операцијама неопходним за постизање квалитета као и повезаношћу фаза у производном процесу.

Активности везане за осигурање квалитета су реализоване у два облика: процесном и дизајнерском облику. Код процесног облика реч је о повезаности организационих целина које се баве примарним прикупљањем и обрадом података и активностима у оквиру којих је свака фаза производног процеса условљена претходном. Поремећај у функционисању система се исказује у повећаном утрошку времена, а манифестује се смањењем нивоа квалитета коначног производа. Под дизајнерским обликом осигурање квалитета се односи на сам дизајн базе података у оквиру које су дефинисане могуће вредности, односно дефинисан је оквир деловања који обезбеђује постизање планираног нивоа квалитета.

Контрола квалитета се састоји из испуњавања функције упоређивања и деловања. Врши се на управљачком нивоу и у организационој целини задуженој за дистрибуцију ГТМ. Наиме, управљачки ниво остварује контакте са корисницима топографских материјала у оквиру система одбране док организациона целина за дистрибуцију остварује контакт са корисницима изван тог система. Успостављањем Геопортала ВГИ и имлементацијом додатних функција у сам сервис, могуће је дибити повратне информације од свих корисника производа ВГИ тзв. *feedback* о свим евентуалним пропустима, како у графичкој представи тако и у тачности атрибутивних података.

На основу прикупљених података о грешкама и након њихове квалитативне анализе, за оне примедбе за које се установи да су релевантне, врши се ажурирање података у централној бази. За оне примедбе за које се установи одређена сумња, убацују се у обрасце теренске допуне и врши њихова теренска провера и тек након тога, ако су релевантне, ажурирају се у бази података.



**Слика 3:** Приказ списка грешака на публикованим подацима [1]

## 6. ЗАКЉУЧАК

Приликом динамичног и ефикасног развоја дигиталне технологије, потпуно се променио начин прикупљања, приказа, анализе, складиштења и дистрибуције геопросторних података. Способност и иницијатива ВГИ за праћење развоја ових технологија довели су до формирања овог сервиса. Његовом применом се у значајној мери скраћује време потребно за теренску проверу и допуну садржаја ДТК25, а уједно се побољшава квалитет самих производа. Као додатни картографски извор и систем контроле квалитета података производа ВГИ користи се база корисника Геопортала ВГИ, како у оквиру система одбране, тако и државних институција, јавних предузећа, приватног сектора и физичких лица.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Савић Ј. (2022). Дипломски рад: Идејно решење израде и имплементације геопортала Војногеографског института.

[2] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“ (2022). Елаборат пројекта: Напредни модел прикупљања геопросторних података за потребе израде ДТК25 коришћењем савремених *WEB* технологија.

[3] Банковић, Р. (2010): Инфраструктура топографских података – део националне инфраструктуре геопросторних података државе Србије, докторска дисертација, Војна академија у Београду.

[4] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“ (2018). Програм реализације: Геопортал Војногеографског института.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА ВЕГЕТАЦИЈЕ ОПШТИНЕ КРУПАЊ ЗА ПЕРИОД ПРЕ И ПОСЛЕ ПОПЛАВА 2014. ГОДИНЕ ПРИМЕНОМ ВЕГЕТАЦИОНИХ ИНДЕКСА SAVI И EVI

# COMPARATIVE ANALYSIS OF THE VEGETATION OF THE MUNICIPALITY OF KRUPANJ FOR THE PERIOD BEFORE AND AFTER THE FLOOD OF 2014 USING THE VEGETATION INDEXES SAVI AND EVI

МИЛАН КОСТИЋ[1,], МИРОЉУБ МИЛИНЧИЋ[2], МИОДРАГ КОСТИЋ[3,]

[1] Управа за обавештајно-извиђачке послове (Ј-2) ГШ ВС, mkkole@gmail.com
[2] Универзитет у Београду – Географски факултет, Београд, miroljub.milincic@gef.bg.ac.rs
[3] Министарство одбране, Управа за инфраструктуру, miodrag.kostic@vs.rs

---

***Резиме:*** *Од природних непогода које погађају друштво поплаве заузимају значајно место по свом утицају и величини штете коју наносе. Сагледавања обима поплава и штете коју наносе земљином покривачу могуће је извршити употребом даљинске детекције и географских информационих система. У раду је извршена анализа природе и обима промена земљишног покривача на подручју општине Крупањ пре и после поплава 2014. године, анализом сателитских снимака Landsat 7 ETM+.*

***Кључне речи:*** *ГИС, даљинска детекција, SAVI, EVI.*

***Abstract:*** *From the all-natural disasters that affect society, floods occupy a significant place in terms of their impact and the magnitude of the damage they cause. It is possible to assess the extent of floods and the damage they cause to the earth's cover by using remote sensing and geographic information systems. The paper analyzed the nature and extent of land cover changes in the area of the municipality of Krupanj before and after the floods in 2014, by analyzing Landsat 7 ETM+ satellite images.*

***Keywords:*** *GIS, remote sensing, SAVI, EVI.*

---

## 1. УВОД

Способност даљинске детекције (ДД) да идентификује и надгледа земљину површину и природне услове драстично се повећао у последњих деценија, а подаци добијени ДД су већ постали кључни инструмент у управљању природним ресурсима. Сателитски снимци дали су научницима изванредан начин да утврде разлоге за коришћење земљишта, промене земљишног покривача и последице које произлазе из људске активности [1].

Захваљујући самој карактеристици сателитских снимака, која се огледа у просторној, спектралној, радиометријској и временској резолуцији, користећи доступне ГИС алате могуће је на ефикасан и детаљан начин пратити све промене у екосистему.

## 2. ПОПЛАВЕ 2014. ГОДИНЕ

Током треће недеље маја 2014. године, поље ниског ваздушног притиска које се формирало изнад Јадранског мора, условило је обимне падавине које су погодиле Републику Србију. Забележене су рекордне количине падавина; више од 200mm кише је пало у западној Србији током једне недеље, што је једнако количини тромесечних падавина под уобичајеним условима. Велике падавине су довеле до брзог и великог повећања нивоа великих река у западној, југозападној, централној и источној Србији, на Сави, Тамнави, Колубари, Јадру, Западној Морави, Великој Морави, Млави и Пеку.

Интензивне кише изазвале су велике воде на бујичним токовима у западној Србији. Најпознатији пример бујичне поплаве је Крупањ, у коме се сустиче неколико малих, бујичних водотока. Иако су све ове бујице биле регулисане на потезу кроз насеље, њихови сливови нису били уређени. Крупањ је поплављен за врло кратко време, уређена корита су потпуно уништена и затрпана огромним количинама наноса, покренута су и бројна клизишта [2].

## 3. ОБРАДА LANDSAT 7 ETM+ СНИМАКА

За потребе анализе стања вегетације пре и нокон поплава 2014. године, на подручју општине Крупањ са сајта *earthexplorer.usgs.gov* преузети су снимци Landsat 7 Collection 1 Level 1:

**Табела 1**: Снимци LANDSAT 7 ETM+ у захвату општине Крупањ

| Датум | Снимак |
|---|---|
| 07.05.2014 | LE07_L1TP_187029_20140507_20161115_01_T1 |
| 23.05.2014 | LE07_L1TP_187029_20140523_20161115_01_T1 |

На преузетим снимцима услед квара коректора линије скенирања постојале су видљиве „траке” на којима нема података. Како би се сами снимци могли користити у сврхе истраживања помоћу „Landsat Toolbox“ алата намењеног ESRI-јевом ArcGis-у на „тракама“ је отклоњена грешка коректора линије скенирања. Добијени снимци са коригованом грешком коректора линије скенирања даље су коришћени као полазни подаци.

Да би се LANDSAT 7 ETM+ снимци могли користити за потребе анализе потребно је извршити њихову обраду, тј. на првом месту потребно је извршити претварање дигиталних вредности снимка (Landsat калибрисаних DN вредности) у апсолутне јединице спектралног зрачења (Digital Numer (DN) to TOA Radiance), а затим вредности TOA зрачења конвертовати у вредности TOA рефлексије (SR) [3].

Дигитални број (DN) у системима ДД представља променљиву додељену пикселу, обично у облику бинарног целог броја у опсегу од 0–255 (тј. бајт). LANDSAT 7 ETM+ сензор чува ове податке као DNS са опсегом од 0 до 256, док нпр. Landsat 8 OLI сензор податке чува у опсегу 0-65536 [4].

По дефиницији, рефлексија на сателиту не уклања атмосферске ефекте, тако да се овде атмосферска корекција назива делимично исправљеним случајем [5].

Све наведене трансформације могуће је извршити коришћењем податак доступних у фајлу „MTL.TXT“ који се добија заједно са снимцима приликом преузимања са USGS-овог сајта и вредности препоручених вредности спектралног зрачења соларне егзоатмосфере на сајту *www.usgs.gov*. Наведене калкулације и трансформације иврштене су у ArcGis-у у алату „Raster calculator“. Да би се користили степени као улазни параметри за тригонометријске калкулације у ArcGis-у потребно вредности степена конвертовати у радијане. Улазне вредности степени треба помножити са π/180, или приближно 0,01745 [6].

## 4. ВЕГЕТАЦИОНИ ИНДЕКСИ

Одређивање типа, старости, распрострањености, као и многих других карактеристика вегетације, је одувек био задатак великог броја научника. Након лансирања првих мултиспектралних и хиперпсектрланих сателитских платформи у Земљину орбиту, ови научници су као резултат тога добили огромне количине података о вегетацији. Ради лакше обраде податка, настају многобројни вегетациони индекси, који су осетљиви на различите карактеристике, као на пример проценат хлорофила у листу или присутност вегетације. Последица тога су и лабораторијска испитивања различитих типова вегетације, односно њихова реакција на различите таласне дужине из електромагнетног спектра. Најинтересантније таласне дужине су оне из видљивог и инфрацрвеног дела спектра, јер је утврђено да зелена вегетација добро рефлектује инфрацрвену таласну дужину.

Фактори који утичу на формирање било којег индекса су: радиометријска мерења која указују обиље и активност зелене вегетације, проценат зеленог покривача, садржина хлорофила у листу, количина биомасе, као и просторни индекс листа LAI (*Leaf Area Index*) и упијена фотосинтетичка активна радијација APAR (*Absorbed Photosynthetic Active Radiation*).

## 4.1 SAVI

У подручјима на којима је заступљеност вегетације мања, рефлексија светлости у црвеном и инфрацрвеном делу спектра може у знатној мери утицати на вредности вегетационог индекса. Из тог разлога је развијен вегетациони индекс прилагођен тлу (*eng. Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI*) који је заправо модификовани NDVI. SAVI се примјењује када је потребно отклонити утицај тла на снимцима са мањом заступљеношћу вегетационог покривача. Творац SAVI индекса је Alfredo R Huete. Формула по којој се добија SAVI, настала је 1988. године [7].

$$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - RED)}{NIR + RED + L} \tag{1}$$

У наведеној формули L представља фактор прилагођавања позадини лишћа који се употребљава за постепени престанак диференцијалног црвеног и блиско инфрацрвеног учинка кроз листове биљака. Засновано на појeдностављеном моделу преноса зрачења, Huete (1988) је показао да вредност која стоји за L = 0,5, дозвољава најбоље подешавање, тј. да се минимизира ефекат секундарног повратног расејања рефлектованог зрачења од позадинске површине тла. Опсег SAVI је између -1,5 и 1,5 [8].

Када је степен покривености тла вегетацијом висок, SAVI има вредност близу 1, што показује да позадина тла нема утицаја на преузимање информација о вегетацији. У подручјима без зелене вегетације за вредност L најчешће се узима 0 док се вредност 1 примењује у подручјима са бујном зеленом вегетацијом. Посматрајући формулу лако се може закључити да је за вредност L=0 вредност SAVI је једнака NDVI. Најчешће се за L коефицијент узима вредност 0,5 да би се прилагодио већини земљишних покривача. Сам SAVI индекс најподесније је користити за анализу младих усева, за сушне регионе са оскудном вегетацијом (мање од 15% укупне површине) и изложеним површинама земљишта [9].

## 4.2 EVI

Побољшани вегетацијски индекс (*eng. Enhanced Vegetation Index - EVI*) развијен је 1999. године од стране Alfreda R Huete и тима из Бразила и Универзитета Аризона САД који су развили алатку за процену услова вегетације засновану на спектрорадиометру умерене резолуције (*eng. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - MODIS*), како би се искористиле све предности сензора. Сличан је NDVI-ју, међутим EVI употребљава и плави канал како би се побољшала осјетљивост рефлексије вегетације. EVI је модификовани NDVI с повећаном осетљивошћу на подручјима високе биомасе с минималним утицајем тла [7].

$$\mathbf{EVI} = \mathbf{G} * \frac{\mathbf{NIR} - \mathbf{RED}}{\mathbf{NIR} + \mathbf{C_1} * \mathbf{RED} - \mathbf{C_2} * \mathbf{BLUE} + \mathbf{L}} \tag{2}$$

где су:

- NIR, RED, BLUE атмосферски кориговaна рефлексија канала;
- C1 i C2 – коефицијенти који се односе на корекцију аеросоли;
- G – фактор побољшања и
- L – фактор тла.

Овај индекс је осјетљивији при високим концентрацијама биомасе, те побољшава могућности праћења вегетације кроз редуцирање утицаја позадине листова [10].

Традиционално, за NASA MODIS сензор (за који је индекс вегетације EVI развијен): C1=6, C2= 7,5, L=1 и G = 2,5 је фактор побољшања, исти параметри се употребљавају и за Landsat сателите. Опсег вредности за EVI је сличан NDVI, који је -1 до 1. За здраву вегетацију варира између 0,2 и 0,8. Препоручује се за употребу за анализу подручја са великим количинама хлорофила (као што су прашуме), и пожељно са минималним топографским ефектима (региони без узвишења, равничарски региони)[9].

## 5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

За обраду, анализу снимака и интерпретацију добијених података у раду коришћен је ESRI ArcGis 10.3.1 софтвер. Након обраде и сечења снимака на границе подручја интереса извршена је калкулација растера, односно креирање растера SAVI и EVI вегетационих индекса. Растери индекса креирани су помоћу „Raster Calculator“-а у ArcGis-у посебно за снимке за 07.05. и 23.05.2014. године. Вредности добијених SAVI индекса за периоде пре и после поплава 2014. године на подручју општине Крупањ, у складу са добијеним вредностима растера су подељене у 5 класа [11] према Табели 2.

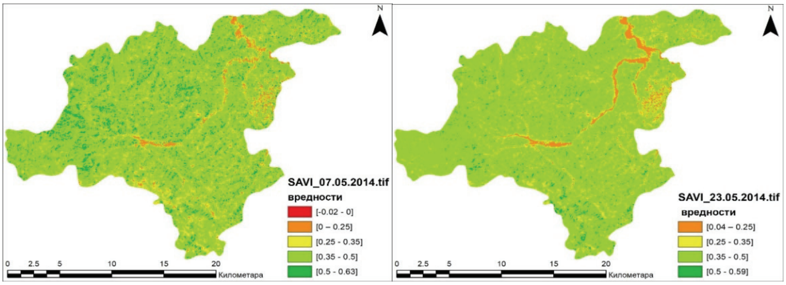
**Табела 2:** Вредности SAVI индекса посматраног подручја за 07.05. и 23.05.2014. године

| Класа/ Подручје | Вредност *SAVI* | 07.05.2014. године | | 23.05.2014. године | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Површина km$^2$ | Површина | Површина km$^2$ | Површина |
| | | укупна 340,33 | % | укупна 340,33 | % |
| Вода | [-0.02 - 0] | 0,01 km$^2$ | 0,01% | - | - |
| Земљиште/Изграђено подручје | [0 – 0.25] | 14,88 km$^2$ | 4,37% | 13,99 km$^2$ | 4,11% |
| Ниска вегетација | [0.25 - 0.35] | 40,37 km$^2$ | 11,86% | 33,06 km$^2$ | 9,71% |
| Средња вегетација | [0.35 - 0.5] | 254,88 km$^2$ | 74,89% | 285,72 km$^2$ | 83,95% |
| Висока вегетација | [0.5 - 0.63] | 30,19 km$^2$ | 8,87% | 7,56 km$^2$ | 2,2% |

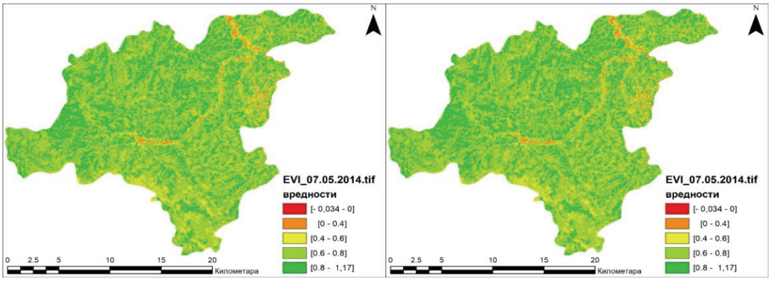
На добијеним растерима SAVI и EVI индекса извршена је рекласификација помоћу алата Рекласификације (Raster analysis - Reclassify) у ArcGis-у, према табелама 2 и 3 (Слике 1 и 2). Вредности добијених EVI индекса за периоде пре и после поплава 2014. године на подручју општине Крупањ, у складу са добијеним вредностима растера су подељене у 5 класа према Табели 3.

**Табела 3:** Вредности EVI индекса посматраног подручја за 07.05. и 23.05.2014. године

| Класа/ Подручје | Вредност *EVI* | 07.05.2014. године | | 23.05.2014. године | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Површина km$^2$ | Површина | Површина km$^2$ | Површина |
| | | укупна 340,33 | % | укупна 340,33 | % |
| Вода | [- 0,034 - 0] | 0,005 km$^2$ | 0,0% | 0 | 0 |
| Земљиште/Изграђено подручје | [0 – 0.4] | 14,34 km$^2$ | 4,21% | 14,02 km$^2$ | 4,12% |
| Ниска вегетација | [0.4 - 0.6] | 40,98 km$^2$ | 12,04% | 31,91 km$^2$ | 9,38% |
| Средња вегетација | [0.6 - 0.8] | 182,37 km$^2$ | 53,59% | 200,58 km$^2$ | 58,94% |
| Висока вегетација | [0.8 - 1,17] | 102,63 km$^2$ | 30,16% | 93,82 km$^2$ | 27,57% |



**Слика 1:** SAVI индекс за 07.05.2014. године и за 23.05.2014. године



**Слика 2:** EVI индекс за 07.05.2014. године и за 23.05.2014. године

Како је за добијени растер за датум после поплава (23.05.2014. године) минимална вредност за SAVI индекс позитивна тј. износи 0,04, приликом рекласификације је добијен растер са једном класом мање у односу на растер за датум пре поплава (07.05.2017. године). Недостајућа класа представља водене површине које су се после поплава повукле у своја корита, а око којих су изазвале велике промене на терену остављајући голо земљиште, што се може потврдити посматрајући добијене растере за период после поплава у подручјима реке Ликодре и њених притока.

Анализирајући добијене вредности површина и саме растере SAVI индекса може се закључити да је након поплава дошло до драстичнијег повећања површина које су у границама [0.35 – 0.5] растера (увећала се приближно 31km²), а које представљају средњу вегатацију (ниске шуме, пашњаке). Такође може се закључити да се површина која представља земљиште [0 – 0.25] смањила за 1km², како и да су се површине које представљају ниско растиње [0.25 - 0.35] смањиле за 2% односно за приближно 7km².

Посматрајући подручја општине поред слива реке Ликодре, користећи добијене растере SAVI индекса, на којима је дошло до поплава великих размера и на којима се по доступној литератури на интернету појавило доста клизишта може се закључити да се класа растера за земљиште [0 – 0.25] драстично повећала тј. да је њена површина доста већа у после поплава у односу на исту пре самих поплава. Драстично повећање површина које представљају средњу вегатацију (ниске шуме, пашњаке) може се објаснити растом вегетације на подручјима која нису била захваћена драстичним поплавама као сама насеља уз реку Ликодру и њене притоке. Посматрајући добијене растере за наведена подручја општине може се закључити да се на уштрб класе која представља земљиште [0 – 0.25], повећала класа средње вегетације (ниске шуме, пашњаке).

Вредности површина за класе EVI индекса су готово идентичне вредностима истих површина за класе SAVI индекса, тј. за прве три класе односно за класе вода, земљишта/изграђеног подручја и ниске вегетације. Према доступној литератури вредности EVI индекса за здраву вегатацију се налазе у распону од [0.2 – 0.8] растера. На добијеним растерима EVI индекса вредности здраве вегетације се налазе у границама изнад очекиваних, односно у распону од [0.6 – 0.8] за средњу вегетацију и [0.8 – 1,17] за високу вегетацију.

Приметно је да је за оба индекса вегатације након поплава дошло до смањења површина на којој је заступљена висока вегетација, као и да је дошло до повећања површина на којој је заступљена средња вегетација.

## 6. ЗАКЉУЧАК

Сателитски снимци пружају брз и поуздан извор веома великом броју разноврсних информација о Земљиној површини и лако се могу користити у разним научним дисциплинама. Брзина прикупљања података је од нарочитог значаја у планирању и превенцији ванредних догађаја као што су поплаве које су погодиле подручје Републике Србије 2014. године. Употребом снимака Landsat 7 ETM+ срачунати су SAVI и EVI вегетациони индекси за периоде пре и после поплава у мају 2014. године (подручје општине

Крупањ). Анализом добијених растера за оба индекса вегетације уочавају се приметне разлике у површинама класа високе вегетације за периоде пре и после поплава.

Наведене разлике такође могу бити и последица поправке грешке коректора линије скенирања која је отклоњена софтверски тако да су растери канала који су употребљени у раду на недостајућим „тракама“ добили вредности пиксела на основу интерполације околних пиксела. Добијене вредности пиксела не представљају одраз стварне рефлексије површина тла, јер су добијени инерполацијом, па је њихов утицај на укупне вредности вегетационих индекса велики, обзиром да површине снимака, под утицајем грешке коректора линије скенирања износе око 22%. За прецизније анализе није подесно користити наведене снимке због великог утицаја грешке коректора линије скенирања.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Cardille, Foley, J. A: Agricultural land-use change in Brazilian Amazonia between 1980 and 1995: evidence from integrated satellite and census data. Remote Sensing of Environment 87, 4, 551-562, 2003.

[2] Marina Babić Mladenović: Pouke polave 2014. godine, 2014.

[3] https://www.usgs.gov/landsat-missions/using-usgs-landsat-level-1-data-product.

[4] https://yceo.yale.edu/how-convert-landsat-dns-top-atmosphere-toa-reflectance

[5] Todd A. Schroeder.T, Warren B Cohen, Conghe Song, Morton J. Canty, Zhiqiang Yang: Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon, Remote Sensing of Environment 103 (2006) 16–26, 2006.

[6] https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/converting-trigonometric-inputs-in-degrees-to-radians.htm.

[7] A. Huete, K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao, L.G. Ferreira: Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, Remote Sens. Environ., 83, pp. 195-213, 2002.

[8] Teshaev N, Mamadaliyev B, Ibragimov A, Khasanov S: The soil-adjusted vegetation index for soil salinity assessment in Uzbekistan, Conference: GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference. Moscow, Russia, 2020.

[9] https://eos.com/blog/vegetation-indices/

[10] Jensen, R. J: Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, Prentice Hall. 1996.

[11] Bokhir Alikhanov : A spatio-temporal analysis of pastures in the mountainous regions of tashkent province, Uzbekistan, 2018.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПОБОЉШАВАЊЕ И ПОВЕЋАВАЊЕ ИСТОРИЈСКИХ АНАЛОГНИХ АЕРОФОТОГРАМЕТРИЈСКИХ СНИМАКА УПОТРЕБОМ МОДЕЛА ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ

# ENHANCING AND UPSCALING HISTORIC ANALOG AERIAL IMAGES USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODELS

МИЛОШ БАСАРИЋ[1], ИВАН ПОТИЋ[2], ДРАГОЉУБ СЕКУЛОВИЋ[2]

[1] Војногеографски институт – “Генерал Стеван Бошковић”, Београд, m-basaric@protonmail.com,
[2] Војногеографски институт – “Генерал Стеван Бошковић”, Београд, ipotic@gmail.com
[3] Факултет за пословне студије и право, Универзитет „Union – Nikola Tesla”, Београд, dragoljub.sekulovic@fpsp.edu.rs

---

***Резиме:*** *Овај рад се бави применом техника вештачке интелигенције за побољшање старих аерофотограметријских снимака добијених скенирањем филмова. Ови снимци се разликују по квалитету и резолуцији скенирања, али и стања очуваности филма што представља изазове у интерпретацији садржаја. Студија се фокусира на коришћење Super-resolution reconstruction (SRR) технике базираној на дубоком учењу, технике која генерише слике више резолуције од оних ниже резолуције. У раду је примењена онлајн платформа под називом Remini за побољшање слике базирана на вештачкој интелигенцији (у даљем тексту као AI) за обраду ових снимака, што резултира побољшаним контрастом детаља и смањеним шумом на снимку. Побољшане слике су већег квалитета са већом и бржом могућношћу интерпретације садржаја. Скалабилност софтвера омогућава групну обраду, што га чини погодним за велике количине снимака. Уколико су почетни снимци геореференцирани, смањенем димензија резултујућих снимака на димензије почетних снимака може задржати просторна референца уз побољшан квалитет. Истраживање наглашава практичну вредност коришћења AI решења за побољшање постојећих снимака и предлаже даља истраживања за локалну имплементацију AI модела у овој области.*

***Кључне речи:*** *Побољшавање слике, Обрада слике, Аналогни фотограметријски снимци, Вештачка интелигенција.*

***Abstract:*** *This paper deals with the application of artificial intelligence techniques for the improvement of old aerial photogrammetric images obtained by film scanning. These images differ in the quality and resolution of the scans, but also in the state of film preservation, which presents challenges in the interpretation of the content. The study focuses on the use of deep learning-based Super-resolution reconstruction (SRR), a technique that generates high-resolution images from lower-resolution ones. The paper uses an online platform called Remini for image enhancement based on artificial intelligence (hereinafter referred to as AI) for the processing of these images, which results in improved detail contrast and reduced noise in the image. Improved images are of higher quality with greater and faster interpretation of content. The software's scalability allows for batch processing, making it suitable for large volumes of recordings. If the initial images are georeferenced, the spatial reference can be maintained with improved quality by reducing the dimensions of the resulting images to the dimensions of the initial images. The research highlights the practical value of using AI solutions to improve existing recordings and suggests further research for local implementation of AI models in this area.*

***Keywords:*** *Image Enhancing, Image processing, Analog Aerial Images, AI.*

---

## 1. УВОД

У раду са старим аерофотограметријским снимцима добијених скенирањем филмова, можемо наићи на снимке различитог квалитета, различитог нивоа очуваности филма и различите резолуције скенирања. Често је случај да нам оригинални филмови нису доступни, па скенирање, као ни механичко чишћење филма не можемо да извршимо како би снимак био бољег квалитета. Како говоримо о масовној количини снимака који се почињу јављати крајем прве половине и почетком друге половине 20. века, јасно је да квалитет снимака посматрано из перспективе каснијег развоја фотограметрије није на највишем нивоу. Самим тим, али и због временског отклона креирања и дигитализације (скенирања) аналогног филма, опажање и интерпретација детаља на снимку могу бити отежани. Како су доступни бројни снимци из периода Другог светског рата, овакав материјал може бити врло драгоцен у историјским и другим истраживањима. Нарочито се сматра од великог потенцијала употреба оваквих података за просторна истраживања, као и за послове фотограметријске реституције, али и за истраживања у области животне средине и елемената терена као што су тло, вегетација, урбана средина, комуникација, хидрографија и остало [1-3]. Овакве фотографије су јединствене и важан су алат за откривање археолошких локалитета и проучавање материјалног стања постојећих локалитета [4].

Идеја примене технологије за побољшавање резолуције и квалитета слике (пооштравање) на аерофотограметријске снимке нам може бити од велике користи да боље интерпретирамо садржај који се на њима приказује. Напредак ових техника у ери вештачке интелигенције (у даљем тексту AI) може се сматрати новим поглављем, у овој области. У овом раду биће приказани модели који се могу користити за побољшање дигитализованих аерофотограметријских снимака, као и илустрације примера сегмената овако побољшаних снимака и неких карактеристичних детаља на њима. Снимци коришћени у раду датирају из 1944. године и представљају територију Совјетског Савеза добијени на порталу *retromap.ru* [5].

## 2. МОДЕЛИ ЗА ПОБОЉШАВАЊЕ СЛИКЕ

Општи назив модела за побољшавање слике је *Super-resolution reconstruction* (у даљем тексту *SRR*). *SRR* је техника генерисања слике високе резолуције тј. побољшавања резолуције слике од слике ниже резолуције (од појединачне или више слике) [6, 7]. Генерално, када се *SRR* у даљинској детекцији ради на основу више слика ту говоримо о сликама које се односе на исто подручје, где је циљ успостављање њихове међусобне релације, док када је реч о јединственој слици, модел се може применити и без коришћења парњака у високој резолуцији. Ово поље истраживања се сматра од велике практичне важности, с обзиром да развијањем ових техника могуће савладати ограничења изазваним просторном резолуцијом слике, која се често јављају у даљинској детекцији [6].

Последњих година, захваљујући дубоком учењу и развојем конволуцијских неуронских мрежа, које су се показале врло ефикасне у моделовању односа између ниске и високе резолуције на основу високе количине тренинг података. Овакви модели се све више јављају у софтверима за обраду слике на интернету, као самостални онлајн алати и као додаци у постојећим софтверима за обраду слике (*plug-ins*). Самим тим, тестирање ових модела за појединачне потребе је лако и доступно, док је за њихову софистициранију примену потребна локална имплементација.

Снимци у овом раду обрађени су путем онлајн софтвера *Remini*, развијен од стране италијанске компаније *Bending Spoons* [8], који користи иновативну AI технологију за трансформацију старих фотографија и реконструкцију са високим степеном оштрине и прецизности. Дискусија резултата ће бити извршена на основу резултата добијених овим софтвером са фокусом на масовнију примена и обраду великог броја снимака за креирања растерског мозаика.

## 3. ПРИМЕНА НА АЕРОФОТОГРАМЕТРИЈСКЕ СНИМКЕ

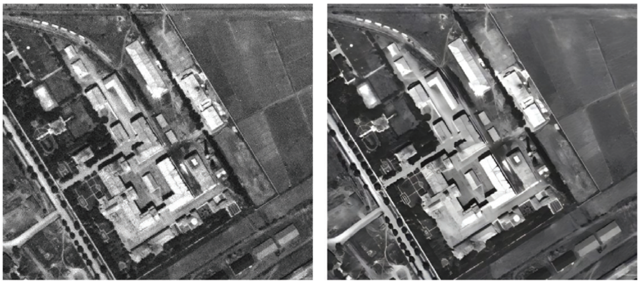
На Слици 1 приказана су два сегмента са снимка (a1, b1) и пандани тих сегмената обрађени на онлајн платформи за побољшавање слике (a2, b2). Обрада слике је трајала око 30 секунди. Резолуција почетног снимка износила је 3072x2048 пиксела, док је резолуција обрађеног снимка 4096x2730 пиксела, што указује да је повећање резолуције (*upscaling*) и по ширини и висини износи око 33,3 %. По питању меморијске величине, обрађена слика је око 5 пута већа са почетних 5 mb на 1 mb.

Може се приметити да је на обрађеној слици отклоњен шум и наглашени светлији детаља. На приређеним детаљима на слици, видимо да су стазе истакнуте и добро дефинисане линију највише тачке крова (a1, a2), као и врло видљиве линије спојева кровова и различитих типова тла (b1, b2). Може се рећи да је већа читљивост снимка и већа и бржа могућност интерпретације.

**Слика 1:** Сегменти са скенираних старих снимака (1) и обрађени путем модела AI (2)

Од овако добијених растерских снимака може се на исти начин креирати растерски мозаик, као и од сирових снимака, поштујући начело преклопа редова и колона аерофотограметријског снимања. Са аспекта скалабилности, са обзиром на време обраде требало би додати и да је у оквиру софтвера дозвољена и групна обрада до 15 појединачних слика (*batch processing*).

Међутим, уколико бисмо већ имали геореференциране појединачне сирове снимке, уз њих бисмо имали и пропратне фајлове, који би били базирани на резолуцији почетног снимка и не бисмо их могли користити уз новодобијене снимке, пошто је резолуција повећана. У случају великог броја снимака, њихово геореференцирање може додатно да повећа трајање пројекта. Из тог разлога, треба узети у разматрање и смањење (*downscaling*), ретходно обрађеног и повећаног снимка на почетну резолуцију почетног и геореференцираног снимка у циљу коришћења пропратних фајлова који су просторна референца. Тако бисмо, од сирових геореференцираних снимака добили геореференциране снимке бољег квалитета и веће оштрине, науштрб резолуције. На Слици 2 је приказан сегмент почетног снимка (1) и сегмент обрађеног и побољшаног снимка, али над којем је извршено смањење резолуције у циљу коришћења почетних одредница за геореференцирање (2). И даље је могуће сматрати да је на добијеном резултату већа читљивост снимка, али и боља интерпретативност. У случају да је већ израђен растерски мозаик од почетних снимака, могуће је пробати са истим поступком над целим растерских фајлом, односно његовим тајловима, у складу са потенцијалним ограничењима софтвера.



1) 2)

**Слика 2:** Сегменти са скенираних старих снимака (1) и смањеног обрађеног снимка (2)

## 4. ЗАКЉУЧАК

Примена готових AI решења имплементираних кроз онлајн софтвере, као што је приказано у овом раду, може на врло практичан начин дати резултате. Потреба за побољшање квалитета постојећих снимака је оправдана, s обзиром да су они квалитетан ресурс за многобројна истраживања у различитим дисциплинама.

Даље продубљивање овог истраживања може бити усмерено на проналажење и локалне имплементације адекватних модела AI које би одговарали за овакав тип употребе и бољу скалабилност приликом извођења пројеката овакsurvey типа. На овај начин обрађени снимци могу бити примењивији у различитим пољима, тј. њихова употребна моћ би могла бити већа. Детектовање детаља је јасније, а потенцијална истраживања и обрада садржаја са оваквих снимака се могу значајно убрзати на рачун боље интерпретативности.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] S., Bakrač, S. Drobnjak, S. Stanković, A. Vučićević & N. Stamenković. „Preparation of Photogrammetric Archive Documentation for Scientific and Other Research”. на Sinteza 2018 *– International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research*. Belgrade, 2018. 17-22.

[2] S. Bakrač, V. Marković, S. Drobnjak, D. Djordjević & N. Stamenković. (2021). „Using historical aerial photography for monitoring of environment changes: a case study of Bovan lake”, Eastern Serbia. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. Vol 29. 305-317.

[3] J. L. Morgan, S. E. Gergel & N. C. Coops. (2010). „Aerial Photography: A Rapidly Evolving Tool for Ecological Management”, *BioScience*. Vol. 60(1). 47–59.

[4] D. Cowley, L. Ferguson & A. Williams. (2013). „The Aerial Reconnaissance Archives: A Global Aerial Photographic Collection”. у: Hanson, W., Oltean, I. (eds) *Archaeology from Historical Aerial and Satellite Archives*. Springer, New York.

[5] „Старые карты россии и зарубежья”, Retromap, [На мрежи]. Доступно на: http://retromap.ru/. [Приступљено: 10. мај 2023].

[6] K. Nasrollahi & T. Moeslund. (2014). „Super-resolution: A comprehensive survey”. *Machine Vision and Applications*. Vol. 25(1). 1423-1468.

[7] M. Kawulok, S. Piechaczek, K. Hrynczenko, P. Benecki, D. Kostrzewa & J. Nalepa, "On Training Deep Networks for Satellite Image Super-Resolution," на *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Yokohama, 2019, 3125-3128.

[8] „Remini – Photo Restoration Online”, Remini, [на мрежи]. Доступно на: https://remini.ai/photo-restorer. [Приступљено: 10. мај 2023].

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ОСАВРЕМЕЊЕНИ КОНЦЕПТ КАРТОГРАФИЈЕ И КАРТЕ У МОДЕРНОМ ГЕОИНФОРМАЦИОНОМ ОКРУЖЕЊУ

# THE MODERNIZED CONCEPT OF CARTOGRAPHY AND MAPS IN THE MODERN GEOINFORMATION ENVIRONMENT

МИХАЈЛО БОБАР[1] , ИВАН ГАРИЋ[2], ИВАНА ЈЕВТИЋ[3], ДРАГОЉУБ СЕКУЛОВИЋ[4]

[1] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, bobarmihajlo96@gmail.com
[2] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, ivan.garic@yahoo.com
[3] Војногеографски институт, Београд, ivanajevtic21.9@gmail.com
[4] Факултет за пословне студије и право, Универзитет „Унион-Никола Тесла“ у Београду, Београд, dragoljub.sekulovic@fpsp.edu.rs

---

***Резиме:*** *Интензивно суочени комплексним и продуктивним технолошким развојем, дошло је до значајних одступања у схватању концепта картографије и карте, дефинисање које је епистемолошки значајно за картографију и, шире, ГИС науку. Развој електронских производа заснованих на геоинформацијама изазвао је све већу потребу за систематизацијом основних појмова, укључујући и дефинисање шта је картографија и карта. Циљ рада је да се научно-стручна јавност упозна да појам картирање и карта могу имати много различитих значења и да се пронађу најприкладније дефиниције у картографском контексту. Штавише, дефиниције карте и картографије су изведене као природне последице, а мисија Међународне картографске асоцијације (ICA) је да промовише дисциплине картографије и ГИС науке у међународном контексту.*

***Кључне речи:*** *Концепт картографије, карте, геоинформационо окружење.*

***Abstract:*** *Intensely faced with complex and productive technological development, there have been significant deviations in the understanding of the concept of cartography and map, a definition that is epistemologically significant for cartography and, more broadly, GIS science. The development of electronic products based on geoinformation has caused an increasing need for the systematization of basic terms, including defining what cartography and map are. The goal of the work is to inform the scientific and professional public that the term mapping and map can have many different meanings and to find the most appropriate definitions in the cartographic context. Moreover, the definitions of map and cartography are derived as a natural consequence, and the mission of the International Cartographic Association (ICA) is to promote the disciplines of cartography and GIS science in an international context.*

***Keywords:*** *Concept of cartography, maps, geoinformation environment.*

---

## 1. УВОД

Наука и картографија имају повезану историју која није била само стварање све тачнијих научних карата, већ она у којој су наука, картографија и држава ко-продуцирали простор знања који пружа услове за могућност модерне науке и картографије. Шта је данас важније од картирања света који показује отисак наших прошлих активности и садржи информације виталне за наше разумевање потенцијала за нашу будућност. Све већа доступност података о свету и карата које представљају ове податке ствара уједно и огроман потенцијални извор знања, али и генерише потребу за методама, моделима и експертизом како би се ти подаци претворили у употребљиве информације за стицање нових знања о свету [1]. Развој електронских производа заснованих на геоинформацијама изазвао је све већу потребу за систематизацијом основних појмова, укључујући и дефинисање шта је карта.

Према Међународној картографској асоцијацији – ICA, тренутна дефиниција карте је: „симболизована репрезентација географске стварности која представља одабране карактеристике или карактеристике, које су резултат креативни напор његовог ауторовог извршења избора, и дизајниран је за употребу када је просторни однос од примарног значаја“. Међутим, врло често се још увек могу наћи дефиниције сличне следећим: „карта: графички приказ, нацртан у размери и обично на равној површини, карактеристика – на пример, географских, геолошких или геополитичких – неког пространства Земље или било које друго небеско тело“ [2]. Дигиталне технологије унеле су значајне промене у начину картирања, картографским приказима и у начинима и контекстима коришћења. Да бисмо то урадили, ослањамо се на теоријске идеје које не само да подржавају област истраживања, него и омогућавају стварање нових схватања о односу између картографије и нових технологија.

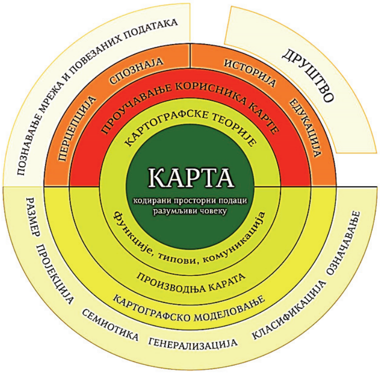
## 2. ИСТРАЖИВАЊА О КАРТОГРАФИЈИ И НОВИМ ТЕХНОЛОГИЈАМА

Дефинисана као проучавање картирања и карата, картографија је више од једног века у фокусу истраживања. На основу традиционалне дефиниције која описује картографију као науку, технику и уметност, анализира се њена дефинисана научна улога у развоју географског мишљења. Картографија се може схватити као превођење чулног опажања у представе засноване на (промењљивим) професионалним конвенцијама. Ове презентације у прошлости су биле углавном 2Д приступи, пре него што су се 3Д облици представа све више усталили. Данас приступи виртуелне и проширене стварности проширују спектар 3Д картографије. На неки начин, могуће је потврдити да промене које данас доживљавамо утичу на начин на који производимо и користимо карте. У картографији, овај процес доприноси њеном сталном ширењу и предлагању нових питања за истраживање.

Ако следимо приступ картографије, како произилази из уводног дела концептуалног схватања, естетика би била централни приступни начин картографије. Све до 18. века доминирала је стара европска представа о јединству истинитог, лепог и доброг. Естетика, као самостална филозофска дисциплина, појавила се тек у модерној ери. Рад „Aesthetica“ Александра Баумгартена увео је нови начин размишљања о естетици који „све више замењује парадигму онтолошки засноване теорије лепог која је преживела од антике и средњег века до данас“ [3]. Најчешћи лексикографски приступ је да се карте третирају као прикази површине земље, али за многе ауторе ова једноставна формула била је превише општа и сувише снисходљива. Уместо тога, они одражавају променљиву интелектуалну моду међу географима и, у новије време, картографима. Дефиниције речи „карта“ често се разматрају у филозофском духу, али се раније нису користиле као начин да се осветли картографска историја. Од средине 17. века до данас сакупљен је узорак од 321 таквих дефиниција из речника, енциклопедија, географских текстова и других списа и научних часописа из периода 1649. до 1996. године [4]. Најчешћи лексикографски приступ је да се карте третирају као прикази површине земље, али за многе ауторе ова једноставна формула је била превише општа и сувише груба. Од алтернативних дефиниција, неколико су у складу с уобичајеном употребом. Уместо тога, они одражавају променљиву интелектуалну моду међу географима и, у новије време, картографима.

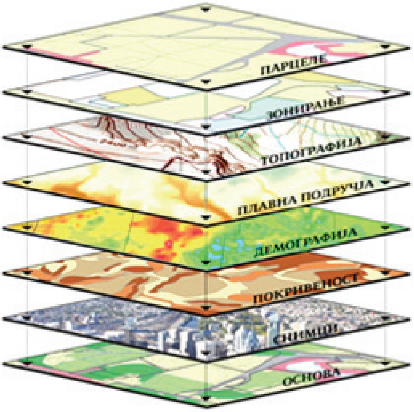
Мисија Међународне картографске асоцијације (ICA) је та која промовише картографију и ГИС као науке у међународном контексту. Пошто карта лежи у срцу картографије и ГИС-а, очигледно је да се морало уложити много напора с њеним дефинисањем: *„Карта је симболизована репрезентација географске стварности, која представља одабране карактеристике или карактеристике које су резултат креативног напора њеног аутора да изврши изборе, и дизајнирана је за употребу када су просторни односи од примарног значаја“.* Ова стара дефиниција усвојена је на 10. Генералној скупштини ICA у Барселони 1995. године, дакле, пре 28 година. Главна слабост ове дефиниције је термин „*географска реалност*“, пошто је свима познато да осим географске реалности на картама има много других елемената. Стратешки план ICA за 2019. до 2027. године укључује нову дефиницију

„*Карта је апстрактни визуелни приказ гео-окружења*“ [5]. Стратешки план је одобрен на 18. Генералној скупштини ICA у Токију, 2019. године. Ову дефиницију карте тешко је разумети и прихватити. Биле су многе примедбе које су прихваћене уз напомену да треба започети рад на правилном дефинисању „карте“ (Слика 1). Вредност идентификовања и промовисања картографије је у томе што реч може бити, и јесте, изнова дефинисана, а њен обим може се проширити да обухвати проширене и нове парадигме. То је корисно флексибилан термин који је опстао у временима брзих промена.



**Слика 1:** Дисциплина картографије: основни концепт и широк опсег
(Извор: *Обрада аутора*)

Дефиниција карте треба да обухвати традиционалне и модерне карте, стварне и виртуелне као што су веб карте, 3Д и карте анимације, чак и глобусе. Употреба ГИС-а не само да мења наше идеје о начинима сагледавања стварности, већ и уноси озбиљне корекције у теоријске основе картирања [6]. Дигитална карта може се поделити на неколико слојева (преклапања или подслојева). Слојеви у ГИС-у представљају скуп дигиталних картографских модела изграђених на основу асоцијације (снимања) просторних објеката са заједничким функционалним карактеристикама. Скуп слојева чини општу основу графичког дела ГИС-а. (Слика 2). Користе се дводимензионални (2Д) и тродимензионални (3Д) координатни модели.



**Слика 2:** Интегрисани ГИС слојеви

Када се сви жељени подаци унесу у ГИС, могу се комбиновати да би се произвео широк спектар појединачних карата, у зависности од тога који слојеви података су укључени.

## 3. ПОЛОЖАЈ КАРТОГРАФИЈЕ У ОКВИРУ НАУКА

Глобализација је променила не само начин на који свет функционише, већ и начин на који ми, као они који утичу и који су погођени процесима глобализације, видимо и перципирамо планету Земљу. Графички дисплеји имају дугу историју у превођењу сложености нашег окружења у разумљиву визуелну представу, при чему су различите карте најосновнија слика коју имамо у мислима када размишљамо о просторима у којима живимо. Карте и визуелизације обликују наш поглед на свет, а како то раде у контексту глобализованог света, разматрано је у овом поглављу.

У савременом друштву суштина картографије се променила. Из науке о стварању и коришћењу карата постепено се трансформише у темељну науку о методама представљања, моделовања, истраживања и спознавања околног простора. Због чињенице да се наука о картографији променила, променио се и предмет картографије, укључујући облик интеракције с корисником. Картографија се усредсређује на приказивање и визуелну перцепцију околног простора кроз картографско дело у облику фигуративно-симболичког метричког модела. Метрички модел фигуративног знака је карта која је информативни производ и има низ корисних својстава и функција [7]. Дизајнирање и картирање веома је важан део рада у области развоја картографије. Топографска картографија развија систем ТК чији је предмет моделовање хидрографије, природног изгледа – рељефа, покривености – вегетацијског покривача, комуникативности, насељености, привредне активности (приказ привредних објеката), као и међусобног односа елемената садржаја топографског простора [8]. Уопштено, *наука* се користи и да опише општи, систематски приступ разумевању света и да се односи на тај приступ какав јесте, примењено на специфичну појаву од интереса, на пример „*науку о географским информацијама*“. Картографија је прихватила науку и технологију као средство да се осигура да је оно што је представљено научно „тачно“ – сматра се да производи „функционишу“ ако су научно „елегантни“, технолошки „изградиви“ и „испоручиви“ користећи савремене комуникационе системе. *Научна картографија* постала је доминантан начин картографског истраживања након Другог светског рата, када је повећан фокус на ефикасност одређених дизајнерских одлука и како су одређене карте разумели крајњи корисници [9]. Немачки картографи су почели да размишљају о *картографији* као *науци* још у 19. веку. Основа за идеју да је *картографија* наука била је да дизајн тематских карата захтева и дедукцију и индукцију, процесе размишљања који су типично повезани с научном праксом. Другим речима, тематске карте су носиоци науке. Централно за ово схватање карата као производа научног истраживања био је концепт „*логике карте*“, правила која ограничавају личне, субјективне дизајнерске одлуке које би картограф могао да донесе (Слика 3).

**Слика 3:** Логичка повезаност између простора, карте, картографа и крајњег корисника (Извор: *Обрада аутора*)

Научници знају да су сва мерења подложна грешкама низа типова: мерење, концептуализација, моделовање и методолошки избори. Многи од њих развијају нијансирано разумевање неизвесности које произилазе из ових грешака и како их треба узети у обзир приликом тумачења резултата њиховог рада. Ово захтева истинито преношење нивоа поверења који корисник карте треба да има у податке, с обзиром на њихову неизвесност. Ово је активна област истраживања у оквиру картографије, с многим истраживачима који се боре с тим колико и какве информације треба укључити, као и како да их визуелно представе.

Овај перципирани ауторитет је разлог зашто људи имају тенденцију да верују картама уместо да их испитују. Дакле, један изазов се односи на преношење ове научне несигурности и како она утиче на закључке које читалац треба да извуче из карте, било да је читалац креатор политике или члан јавности. Међутим, ако нам је потребна дефиниција карте без увођења пресликавања као међукорака, онда бисмо то изразили овако: карта је резултат процеса који повезује скуп просторно повезаних података са њиховим представљањем, уз очување просторног уређења и поједностављивање детаља [10]. Просторне компоненте најважнији су део карата и картографије. Много тога је представљено на картама. Домен картирања може бити било који скуп просторних података, на пример површина Земље, Месеца или Марса, дубине мора, дистрибуција температуре, густина насељености, економска производња и друго.

У последњих 40 година технологија израде карата из темеља се променила. Данас се папирне карте производе искључиво дигиталном технологијом. Међутим, све више их замењују мултимедијалне или електронске карте. Глобалне картографске услуге пружају потенцијалне апликације које су до недавно биле незамисливе. Због свих промена у картографији сматрало се да је неопходно *сковати* нову дефиницију главних картографских појмова. На основу претходно изнетог, предложене су следеће нове дефиниције: Картографско *картирање* је скуп просторно повезаних података, уз очување просторног уређења и поједностављивање детаља. *Картографија* је наука, технологија и уметност картографског картирања и коришћења карата. *Карта* је медиј дизајниран за комуникацију генерализованих просторних информација и односа. Обично се израђује у визуелном облику и служи за комуникацију помоћу картографских симбола [10]. Без обзира на дефиницију карте, мислимо да би већина научника и људи који се баве картографијом прихватила да је картографија наука, технологија и уметност картографског картирања и коришћења карата.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Картографија је уметност, наука и технологија при изради и коришћења карата. То је процес дизајнирања графичких ознака које чине карту. Такође, може се користити за комуницирање науке на мање циљно оријентисан начин, при чему је циљ да се поделе научно истраживање и изазове интересовање читаоца карте за неку посебну тему. Широка доступност рачунарских технологија које су учинила израду карата много лакшом и бржом, представила је нове могућности за пројектовање више картографских приказа, као и осавремењени концепт картографије. Употреба географских информационих система не само да мења наше идеје о начинима сагледавања стварности, већ и уноси озбиљне корекције у теоријске основе картирања.

Досадашња истраживања указују да је применом нових технологија картирање постало пракса обележена облицима комуникације и интеракције повезаним с дигитализацијом информација. Не само да се формат карата променио из аналогног у дигитални, већ и начини њихове израде, читања, интерпретације и употребе. Потпуније развијену теорију карата као средства за стварање новог знања налазимо у когнитивно-семиотичком приступу разумевања „како карте функционишу”, како је описано у тексту. То је потакнуло картографску науку и обећава да ће доћи до нових идеја које ће нам омогућити да израђујемо боље карте.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Cartwright, W., & Ruas, A. (2015). Mapping the world. International Journal of Cartography, 1(1), 1-4. doi:10.1080/23729333.2015.1062608.

[2] Gotlib, D., Olszewski, R., Gartner, G. (2021). The Extended Concept of the Map in View of Modern Geoinformation Products. *ISPRS Internationalni Journal of Geo-Information*, 10, 142. https://doi.org/10.3390/ijgi10030142.

[3] Edler, D. & Kühne, O. (2022). Aesthetics and Cartography: Post-Critical Reflections on Deviance in and of Representations, *ISPRS Internationalni Journal of Geo-Information*, 11 (10), 526, 1-16, https://doi.org/10.3390/ijgi11100526.

[4] Andrews, J. H. (1996). What Was a Map? The Lexicographers Reply, *Cartographica*, Vol. 33, No. 4, 1-11.

[5] ICA (2019): Strategic Plan 2019-2027, https://icaci.org/ files/documents/generalassembly 2019/22-ica strategic plan 2019-2027.pdf (online from 1 Dec 2020).

[6] Haydarovich, B. M., Yarkulov, Z. R., & Mashrab, P. (2023). Main Characteristics of Geoinformation Technologies and Modern Gis. *Web of Synergy: International Interdisciplinary Research Journal*, 2(2), 194-200.

[7] Banković, R., Sekulović, D. i Basarić, M. (2021). Važnost karata kod rizika i ugroženosti od poplava u nadgledanju plavnih područja Srbije. U D. Urošević, M. Dražić, & Z.Stanimirović (Ur.), *Zbornik radova sa XLVIII Simpozijuma o operacionim istraživanjima,* Matematički fakultet Univerziteta u Beogradu, str. 143-148.

[8] Стојановић, М., Симић, М. и Секуловић, Д. (2022). Графичко дизајнирање војне топографске карте размера 1:25000. *Гласник/Herald*, 26, 135–155. https://doi.org/10.7251/HER2226135S

[9] Griffi N, A. (2021). Cartography and Science. *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge* (1st Quarter2021 Edition), John P. Wilson (Ed.). DOI:10.22224/gistbok/2021.1.9.

[10] Lapaine, M., Midtbø, T., Gartner, G., Bandrova, T., Wang, T. and Shen, J. (2021). Definition of the Map, *Advances in Cartographi and GIScience of the ICA, 30th International Cartographic Conference,* Florence, Italy, 3, 9, https://doi.org/10.5194/ica-adv-3-9-2021.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# МОДЕРНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ У УРБАНОМ ПЛАНИРАЊУ

# MODERN TECHNOLOGIES IN URBAN PLANNING

МОМЧИЛО С. ЂОРЂЕВИЋ[1], ВЛАДИМИР М. ПЕТРОВИЋ[2], ИГОР Ј. ЕПЛЕР[3]

[1] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, momcilo.djordjevic@vs.rs
[2] Институт за хемију, технологију, и металургију, Универзитет у Београду, petrovic@ihtm.bg.ac.rs
[3] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, igorepler@gmail.com

***Резиме:*** *Просторни подаци раније су коришћени у дводимензионалној (2Д) технологији. Данас прикупљање података је резервисано за тродимензионалне (3Д) технологије. Те нове модерне 3Д технологије су незамењиве у урбаном планирању. Методе прикупљања података за израду тродимензионалних медела градова су разноврсне: премер (применом тоталних станица и ГПС уређаја), фотограметријске методе, примена напредних техника ласерског и радарског снимања, као и дигитализацијом постојећих топографских планова и карата. У раду посебан акценат је дат на дигиталном моделу гардова.*

***Кључне речи:*** *2Д, 3Д, дигитални модел градова,*

***Abstract:*** *Spatial data were used in the two-dimensional (2D) technology before. Today, the collecting of data is reserved for the three-dimensional (3D) technology. These new, modern, 3D technologies are irreplaceable in urban planning. The methods of collecting data for the construction of three-dimensional city models are diverse: for example (usage of total stations and GPS devices), photo geometric methods, usage of advanced laser techniques and radar recording, as well as the digitalization of the existing topographic plans and maps. In these research, special accent were given to the digital city models.*

***Keywords:*** *2D, 3D, digital city models.*

## 1. УВОД

У прошлости, просторни подаци били су коришћени углавном у дводимензионалној технологији (у даљем тексту: 2Д). Развојем технологија прикупљања просторних података, затим информационих технологија (хардвера и софтвера), као и услед специфичних захтева крајњих корисника, интерес за подацима у тродимензионалној технологији (у даљем тексту: 3Д) је значајно порастао. На пример, виртуелни модели градова су у прошлости углавном били коришћени за визуелизацију и графичко претраживање градских простора.

Међутим, у данашње време све је већи број корисника из различитих области попут, заштите животне средине, просторног планирања и урбанизма, промета непокретности, телекомуникације, управљања буком, туризма и др. који захтевају додатне податке о градским објектима у стандардизованом моделу и начину приказа. Развојем технологија, како мерних, тако и информатичких, 3Д подаци и 3Д модели постају саставни део инфраструктуре просторних података. Први кораци у изради 3Д модела градова предузети су крајем прошлог века праћени са доста потешкоћа. Алати за израду, могућности коришћења, као и адекватни стандарди били су тек у повојима и недовољно развијени за ширу примену 3Д модела.

3Д модел града представља тродимензионални приказ града или урбане средине, настао на темељу података који су добијени из вишеструких извора (аерофотограметрија, терестичка фотограметрија, LiDAR[2], сателитски снимци високе резолуције и др.). Ови модели градова представљају постојеће физичке објекте и њихове тополошке и функционалне односе. Могу да садрже велики број објеката различитих класа, различитих модела података и структура, а најчешће се деле према нивоу детаљности приказа објеката (*eng. Level of Detail - LoD*).

## 2. МЕТОДЕ ПРИКУПЉАЊА ПОДАТАКА ЗА ИЗРАДУ 3Д МОДЕЛА

Развојем информационих технологија и усавршавањем технологија прикупљања и обраде велике количине податка, о појавама и објектима на површи Земље, остварен је огроман напредак у изради и примени 3Д модела терена. Стратегије узорковања, избором тачака површи терена или реконструисањем стерео модела, условљене су: наменом, начином коришћења дигиталног модела терена (ДМТ), као и употребљене технике за мерење изабрних позиција у границама пројектоване тачности. За израду 3Д модела за потребе планирања градова потребно је обавити прикупљање просторних података једном или више геодетских метода и то:

- Премер - применом тоталних станица и ГПС за непосредно мерење површи терена (прецизна електронска тахиметрија);
- Фотограметрија - применом стерео парова аеро или сателитских снимака;
- Применом напредних техника ласерског и радарског снимања - LiDAR и
- Дигитализацијом постојећих топографских планова и карата.

Земљина површ је покривена природним као и створеним особеностима, проузокованих деловањем човека. Вегетација, снег и лед, као и пустиња су основне природне особености. Насеља и саобраћајне мреже су створене особености земљишта. За површи терена са различитим типовима покривача, неопходне су различите технике мерења, поједине технике нису подесне за одређене области [1].

## 3. ДИГИТАЛНИ 3Д МОДЕЛ ГРАДА

Дигитални модел града је дигитални приказ земљине површи и припадајућих изграђених објеката на подручју града. Најчешће се деле према степену детаљности приказа објеката – LoD, од нивоа 0 до 4 [2].

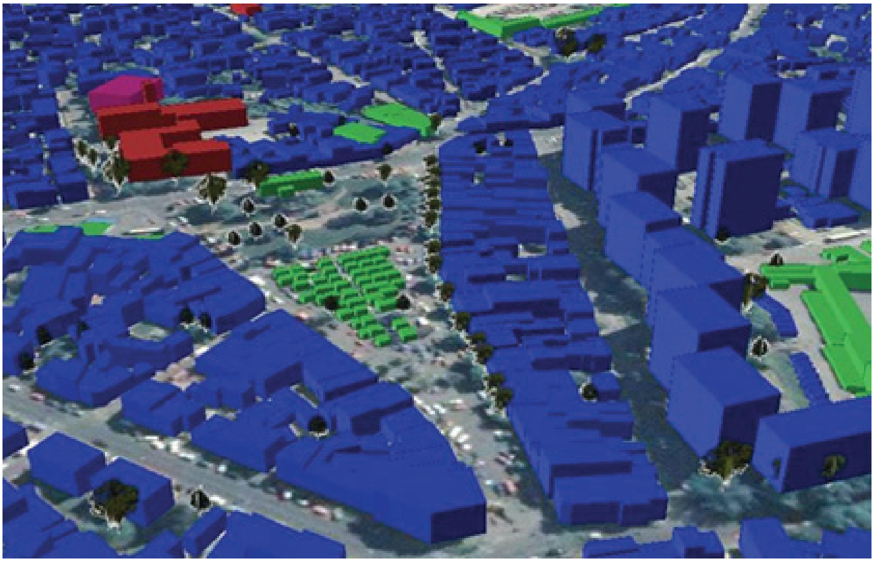
1. **LoD0** (eng. Level of Details 0) - објекти су представљени као 2Д или 3Д полигони пројекције темеља или крова на раван. Често се преко ових модела поставља ортофото или врши сенчење на основу података дигиталног модела терена (Слика 1).

---

[2] Light Detecton And Ranging - LiDAR

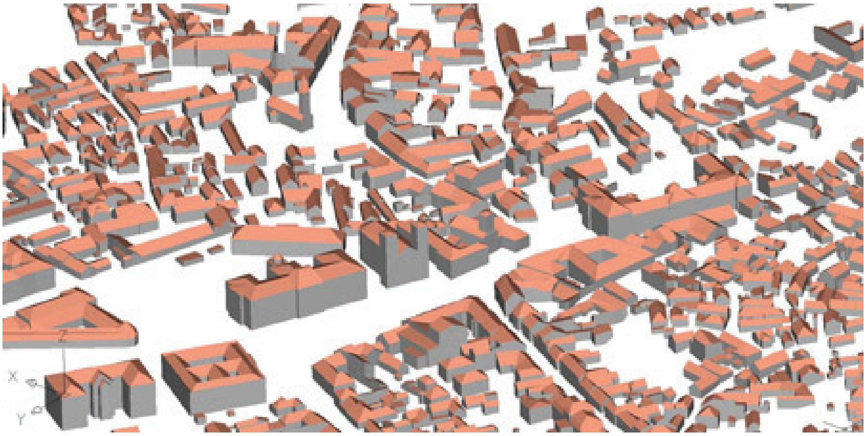
**Слика 1 -** Археолошко налазиште Felix Romuliana - модел генерисан на основу дигиталног модела површи и ортофотоа [2]

**2. LoD1** (eng. Level of Details 1) - ниво детаљности где се зграде представљају као призме, а кровови се представљају као равни. Овај начин моделирања често се користи код израде 3Д модела за веће територије (Слика 2).



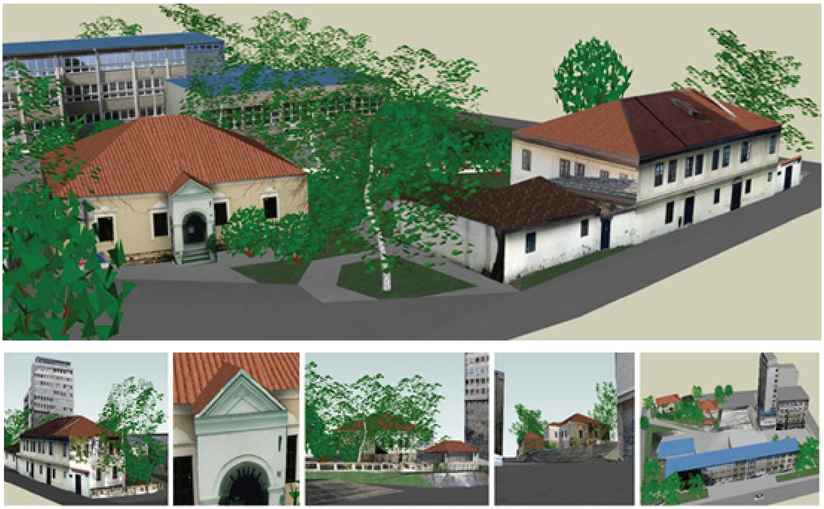
**Слика 2 -** 3Д модел града Пирота - генерисање 3Д модела са нивоом **LOD1** из полигона зграда Дигиталне топографске карте Пирота размере 1:5.000, са измереном висином сваког објекта из фотограметријског модела [2]

**3. LoD2** (eng. Level of Details 2) - ниво детаљности где се кровови детаљно представљају и одвајају од зграде (Слика 3).



**Слика 3 -** Историјско културна целина Сремски Карловци - 3Д модел израђен комбиновањем аерофотограметријских и терестичких снимака [2]

4. **LoD3** (eng. Level of Details 3) - означава ниво детаљности где се зграде допуњују детаљима на спољним зидовима и крову (Слика 4).



**Слика 4 -** Просторно-историјска целина „Доситејев лицеј" у Београду, 3Д модел израђен комбиновањем аерофотограметријских и терестичких снимака [2]

5. **LoD4** (eng. Level of Details 4) - означава ниво детаљности где се зграде допуњују унитрашњошћу зграда. Зграде у LoD4 се састоје од соба, унутрашњих врата, степеништа и намештаја.

Процес моделовања података се састоји из:

- прикупљање података о површи терена(прикупљање статистићки релевантног узорка;
- формирање модела површи терена у математичком облику (реконстру-кција површи терена на основу прикупљеног узорка);
- управљање ДМТ подацима (ажурирање, дистрибуција…);
- анализе модела за конкретну област примене (израда одговарајућих ДМТ продуката).

Свака од ових фаза може се даље поделити на даље активности, од којих су неке неопходне, а неке могу бити заступљене или не, у зависности од конкретног случаја примене. Тако се прикупљање података састоји од: израде студије изводљивости, израде пројекта, прикупљање података и верификације података. Наком прикупљања података врши се израда модела и оцена тачности реконструисане површи терена. У фази прикупљања података највише су заступљене дисциплине као што су: геодезија, картографија, фотограметрија и даљинска детекција.

У фази формирања модела површи терена су такође заступљене картографија, геодезија, фотограметрија и даљинска детекција али комјутерска геометрија, компјутерска графика и дигитална обрада слика. У фази управљања ДМТ подацима користе се знања и технологије везане за: просторне базе података, Web технологије, компјутерска графика и друге.

Код анализа ДМТ и примене укључене су све геонауке (геодезија, фотограметрија и даљинска детекција, картографија, географија, геоморфологија, грађевинарство, рударство, геологија, урбанизам, заштита животне средине, управљање животним ресурсима и инфраструктуром и друге).

Овде треба посебно истаћи да је дигитално моделирање терена тесно повезано са развојем фотограметрије и даљинске детекције. Управо су развој ових техника средином 20. века, као и развој рачунарског хардвера и софтвера, омогућили и развој и бројне примене ДМТ. Фотограметрија је кључна дисциплина која је омогућила ефикасно масовно прикупљање података о површи терена. Током времена стручњаци који су се бавили фотограметријом усавршили су технике прикупљања података (од аналогне, аналитичке, па све до дигиталне фотограметрије) и процедуре за избор оптималног статистичког узорка за довољно квалитетну реконструкцију површи терена.

Истовремено, развијене су бројне методе за реконструкцију површи терена и методе интерполације. Првобитне реализације ДМТ су биле пре свега покушај аутоматизације у процесу израде планова и карата. Главни циљ је био добијање висинске представе терена преко карата са изохипсама, док су остале могућности нове технологије ређе коришћене.

Најновији развој информатике, довео је до тога да се савремени ДМТ базира на посебно пројектованој бази података. Са одговарајућим процедурама, омогућено је одржавање овакве базе података ажурном током времена, а у сваком тренутку се може добити неопходна информација или приказ терена упитом базе. При томе се већина операција проводи интерактивно у графичком режиму рада. Повезивање са осталим компонентама или уградња ДМТ у неки просторни информациони систем представља најновији тренд у даљем развоју технологије ДМТ.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Полако се напушта конвенционални начин презентације просторних података у 2Д форми, евентуално обогаћен информацијама о надморским висинама појединих тачака (изохипсе) и прелази се на модеран концепт 3Д презентације висинске представе терена и објеката, при чему се манипулисањем 3Д модела у одговарајућем софтверском окружењу добија много више геометријских и визуелних информација о конфигурацији терена и вештачким објектима на њему, у односу на досадашња искуства.

Тродимензионално моделовање града у многоме унапређује различите сегменте архитектонског и урбанистичког пројектовања као и просторног планирања. Представља основу са које је олакшано сагледавање саме структуре града и могућности његовог даљег планирања и уређења.

Значајно је и у погледу заштите и унапређења објеката архитектуре који спадају у културно историјско наслеђе као и њиховог адекватног мапирања. 3Д моделовање омогућује и лакше сагледавање стилова који прате развој сваког града те у том смислу стручњацима из области архитектуре представља добру основу за анализе и усклађивање новопланиране градње.

Грађевинци, просторни планери, урбанисти, комуналне службе су у могућности да посматрају градове у 3Д форми и да облик зграда, структуру насеља, мостове, путеве и друге објекте инфраструктуре на ефектан начин представе јавности. Не треба занемарити ни значај у урбаној екологији будући да је на основу прецизних модела града могуће тачно утврђивање постојећих зелених површина, њихово мапирање, као и потреба за новим. Инжењери разних струка повезаних са планирањем простора ће овакву 3Д анализу такође сматрати изузетно корисном у области заштите животне средине и сл.

Тродимензионално моделовање, не само градова већ и других простора, може да има примене у више области људског деловања, у последње време све више у систему одбране. У миру, при пројектовању и изградњи нових и реновирању постојећих војних објеката, нпр. складишта, аеродрома и др. без обзира да су исти ближе насељеним или руралним просторима [8]. У рату, у будућности, интерактивно коришћење података нема алтернативу.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Kraak, M.J. and Orweling, F. (2020). Cartography - Visualization of Spatial Data, *CRC Press*, *4th edition*, ISBN: 978-1138613959

[2] https://mapsoft.rs/index.php/sr/produkti (преузето дана 18.05.2021.)

[3] 3Ђорђевић, М. (2017). Системски приступ одлучивању у избору локације и садржаја складишта убојних средстава, докторска дисертација, Машински факултет, Унивезитет у Београду

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50. СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ФОТОГРАМЕТРИЈСКО ПРАЋЕЊЕ ГРАДЊЕ СПОРТСКИХ ОБЈЕКАТА

# PHOTOGRAMMETRIC MONITORING OF SPORTS FACILITIES CONSTRUCTION

НЕНАД ГАЉАК[1], МИРОСЛАВ ВУЈАСИНОВИЋ[2], ТОДОР ПУХАЛО[2], ТАТЈАНА МАЛИЧЕВИЋ[2], МИОДРАГ РЕГОДИЋ[2]

[1] Универзитет одбране, Војна академија Београд, galjaknenad@gmail.com
[2] Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет,
miroslav.vujasinovic@aggf.unibl.org, todor.puhalo@student.aggf.unibl.org,
tatjana.malicevic@student.aggf.unibl.org, miodrag.regodic@aggf.unibl.org

---

***Резиме:*** *Фотограметрија представља методу мерења којом се одређују положај и облик објекта на основу фотографије. Ова метода омогућава реконструисање објеката и утврђивање њихових особина без директног контакта са њима и са унапред задатом тачношћу. Прикупљање података о терену данас се обавља савременим сензорима високе резолуције, који су способни да податке прикупе у дигиталном облику, док се њихова обрада, анализа и презентација обавља помоћу ГИС софтверских апликација. Све чешће коришћење беспилотних летелица за снимање појава на Земљи, омогућава геодезији да прошири домет свог деловања и да успешно сарађује са друим струкама. У раду су представљене могућности фотограметријског снимања и праћења изградње спортских објеката, коришћењем беспилотне летелице Phantom 4 pro. Високи квалитет беспилотне летелице је обезбиједио дигиталне снимцке добре просторне, спектралне и радиометријске резолуције, погодне за успешну обраду и анализу.*

***Кључне речи:*** *Sportski objekti, Bespilotna letjelica, Digitalni snimci, Obrada snimaka.*

***Abstract:*** *Photogrammetry is a measurement method used to determine the position and shape of an object based on a photograph. This method enables the reconstruction of objects and the determination of their characteristics without direct contact with them, with a predetermined accuracy. Data collection on the terrain is now done using modern high-resolution sensors capable of capturing data in digital format, while their processing, analysis, and presentation are performed using GIS software applications. The increasing use of unmanned aerial vehicles for capturing Earth phenomena allows geodesy to expand its scope of operation and successfully collaborate with other disciplines. This study presents the possibilities of photogrammetric imaging and monitoring of sports facilities construction using the Phantom 4 Pro unmanned aerial vehicle. The high-quality of the UAV provides digital images with good spatial, spectral, and radiometric resolution, suitable for successful processing and analysis.*

***Keywords:*** *Sports facilities, Unmanned Aerial Vehicle, Digital imagery, Image processing.*

---

## 1. УВОД

Примена савремене технологије за прикупљање, обраду, анализу и презентацију података о простору, мења стварност из дводимензионалног (2Д) света карата у тродимензионални (3Д) свет дигиталног моделовања.

Тродимензионални прикази терена у виду дигиталних модела, који представљају математичку презентацију површи са захтеваном тачношћу, су сложени системи који се састоје од великог броја објеката, атрибута објеката и није их лако визуализовати и анализирати.

Фотограметрија је дисциплина геодезије, која на основу мерења фотографских снимака, дефинише облик, величину и положај објеката и детаља регистрованих у моменту снимања.

Фотограметрија је наука о коришћењу 2Д фотографија за тачна мерења у 3Д простору [5]. Фотограметријски поступци се користе у свим фазама прикупљања, обраде, анализе и интерпретације података о простору у многим областима, као што је премер и топографско картирање, архитектура, инжењерство, полицијске истраге, геологија, археологија итд.

Процес анализе података у дигиталном облику, са одговарајућом базом података, обухвата примену низа математички дефнисаних алгоритама и поступака, чијом применом се добију квалитетни графички, нумерички и векторски производи.

Поред мерења фотографских снимака потребно је прикупити и друге информације, што укључује и директна мерења на терену, као и податке о фотографској камери, са којом је снимање извршено.

## 2. ФОТОГРАМЕТРИЈСКО СНИМАЊЕ ГРАДЊЕ СПОРТСКИХ ОБЈЕКАТА

Блископредметна фотограметрија је једна од бесконтактних метода снимања и заснива се на принципу стереографије. Позиција одређене тачке у простору може се одредити математичком триангулацијом уз помоћ најмање два фотографска снимка на којима је та тачка видљива. Уз помоћ ове методе могуће је дигитализовати разне физичке објекте, где се та разноликост огледа у величини објекта, геометријској сложености, врсти материјала и слично.

Блиски објекти стереоскопски се снимају стерео камером. Најновији поступци дигиталне фотограметрије ослањају се на снимке начињене дигиталним камерама или на накнадно дигитализоване снимке начињене класичним техникама. Дигитална фотограметрија комбинована са другим поступцима, у потпуности омогућује аутоматизовано добијање 3Д дигиталног модела објекта.

Пројекат реновирања градских стадиона широм БиХ, који је у надлежности Европске фудбалске федерације (UEFA), започео је са реализацијом 2022. године. Циљ пројекта јесте да се у 2022. години реновирају Градски стадион Бања Лука, „Рођени“ Мостар и „Тушањ“ Тузла, при чему стадиони треба да добију најсавременије хибридне травнате површине.

Приликом израде техничке документације коришћене су следеће подлоге и подаци: дигитални катастарски план подручја од интереса, геодетска ситуација терена Р 1:500, одлука о условима које клубови морају задовољити, правилник о лиценцирању клубова за такмичења у домаћим лигама, UEFA правилник о стадионској инфраструктури [4] и запажање пројектанта приликом обиласка терена.

Задаци геодезије су били: преузимање податка о постојећим геодетским подлогама, излазак на терен и провера стварног стања, решавања имовинско правних односа, пројекат и реализација пројекта Основне мреже објекта (ОМО), рекогносцирање и стабилизација тачака ОМО, одређивање 3Д координата тачака ОМО ГПС методом, обезбеђивање геодетске подлоге за грађевинске и друге пројекте, пројекат обележавања – рачунање елемената потребних за обележавање карактеристичних тачака објекта и ископа земљишта, праћење реконструкције и изградње објекта, пројекат изведеног стања.

Сва фотограметријска снимања праћења градње спортских објеката изршена су беспилотном летелицом Phantom 4 pro (Слика 1).

**Слика 1:** Беспилотна летелица Phantom 4 pro [3]

Беспилотна летелица Phantom 4 pro је један од последњих модела из генерације Phantom, са одличним карактеристикама приказаним у табели 1.

**Табела 1:** Опште спецификације Phantom 4 pro летелице [3]

| **Спецификације** | |
|---|---|
| Маса | 1375 g |
| Време лета | 30 min |
| Максимална брзина успона | До 22 km/h |
| Максимална брзина спуштања | 14 km/h |
| Максимална брзина лета | До 72 km/h |
| Распон радне темпертуре | 0° до 40° |
| Положај сателита | GPS, Glonass |
| Максимална висина лета | 500 m |
| **Пуњач** | |
| Напон | 17.4 V |
| Снага пуњења | 100 W |
| **Апликације** | |
| Мобилна апликација | DJI GO 4 |
| Фреквенцијски распон | 2.4 GHz, 5.8 GHz ISM |
| Квалитет емитовања | 720p pri 30fps, 1080 @ 30 fps |

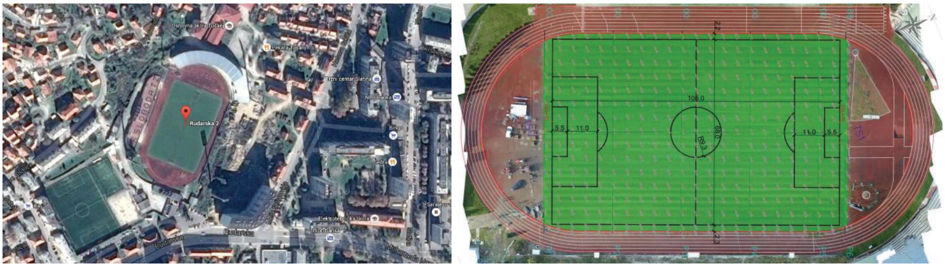
## 2.1. Реконструкција спортског објекта „Тушањ“ Тузла

Стадион Тушањ налази се у ширем градском подручју Града Тузле и изграђен је 1957. године. Прво реновирање стадиона било је 2004. године, док је циљ реновирања 2022. године био реконструкција фудбалског терена за потребе такмичења у Премијер лиги БиХ.

Процес пројектовања и успостављања геодетске мреже објекта започиње заједно са свим осталим пројектима, који се израђују за објекат (архитектонски, грађевински, машински и остали). Данас се процес пројектовања искључиво одвија на некој од геодетских подлога [1].

Након стабилизације тачака и одређивања њихових координата, извршено је снимање нултог стања стадиона и обележавања подручја на коме ће се вршити ископ (скидање старог слоја терена). На основу снимка нултог стања, касније је извршено поређење реконструисаних делова терена.

На Слици 2 приказан је сателитски снимак стадиона и снимак нултог стања начињен беспилотном летелицом Phantom 4 pro са одређеним апсолутним висинама на сваких 4 m и карактеристичним линијама, исцртаним у AutoCAD-у.



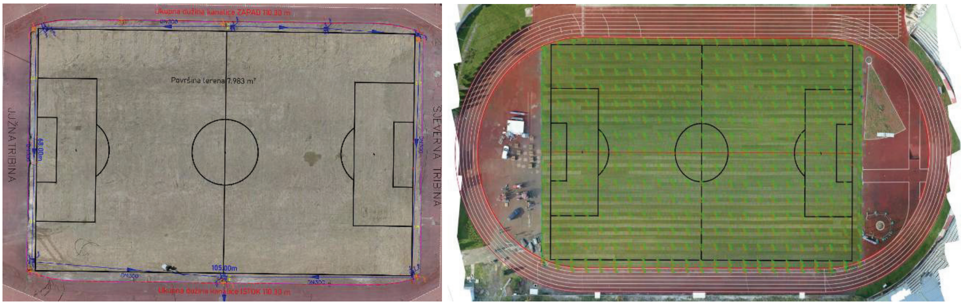
**Слика 2:** Сателитски снимак стадиона и снимак нултог стања, начињен беспилотном летелицом Phantom 4 pro [6]

Након грубог ископа терена следило је фино равнање, планирање постељице у локалном тлу и довођење исте у попречни пад од 0,4%, потом насипање носивог слоја шљунка у гранулацији од 8-16 mm дебљине 8 cm.

Геодетски радови за потребе пројектовања и градње објеката извршавају се кроз фазе израде програма, пројекта, реализацију пројекта и израду елабората о реализацији пројекта геодетских радова. Планирање и организација геодетских радова, односно садржај и обим програма геодетских радова, значајно зависи од конструктивних карактеристика објекта [2].

При праћењу изградње, задатак геодезије је обележавање терена, односно нивоа ископа и насипа земљишта, провера висина и нагиба терена, обележавање дренажних цеви и канала за грејне инсталације, оријентација и позиционирање система за наводњавање и одводњавање воде (шахте, вентили, одводни канали...).

На Слици 3 је приказан снимак фудбалског терена у фази изградње и снимак изведеног стања са апсолутним висинама реконструисаног терена (преузето из Пројекта реконструкције стадиона).

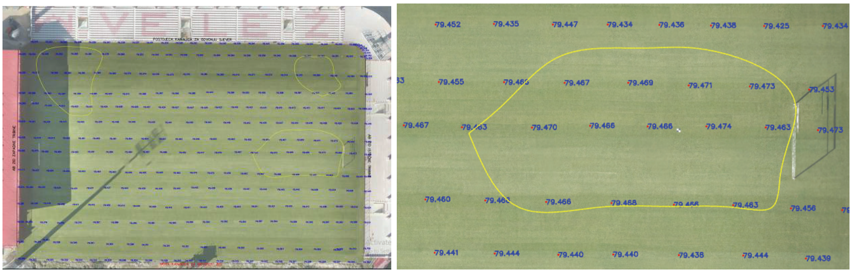


**Слика 3:** Снимак фудбалског терена у фази изградње и снимак изведеног стања

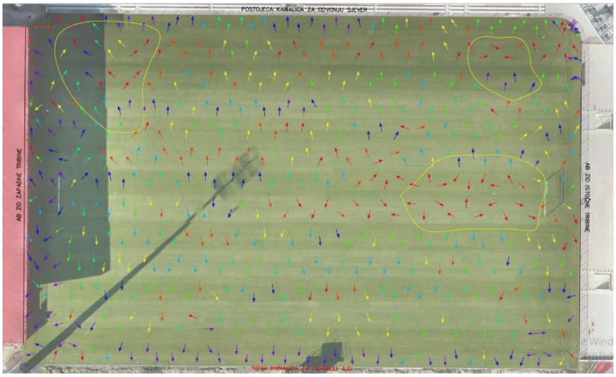
## 2.2. Реконструкција спортског објекта „Рођени“ Мостар

При изградњи стадиона, пројектом је дефинисан попречни пад 0,4% на обе стране од средине терена. Због грешке извођача радова на изградњи фудбалског стадиона „Рођени“ из Мостара, након снимања изведеног стања беспилотном летелицом Phantom 4 pro и накнадном обрадом снимака, уочене су неправилности настале приликом равнања терена.

Изведене апсолутне висине терена се разликују од пројектованих, стога је закључак да, извођач радова није направио захтевани пад терена. Као последица тих удубљења, приликом обимних кишних падавина, земља на тим деловима терена не стиже да упије воду, па се уместо сливања низ терен у каналице предвиђене за одвођење воде, вода задржава на терену. На Слици 4 приказани су делови терена на којима су настала удубљења, док су на Слици 5 приказани водени токови (преузето из Пројекта реконструкције стадиона).



**Слика 4:** Снимак изведеног стања реконструкције стадиона „Рођени“ Мостар и издвојени детаљ неравномерног нагиба терена

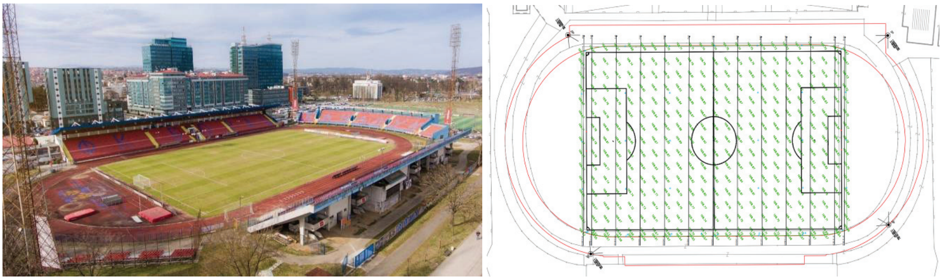


**Слика 5:** Векторски приказ водених токова

## 2.3. Реконструкција градског стадиона Бања Лука

Пројектом реконструкције Градског стадиона предвиђени су радови на изравнању терена. Изравнању се приступило ископом постојећег земљишта, затим формирањем потребног нагиба постељице од 0,4%.

Пројектом изведеног стања, нивелацијом терена, предвиђено је да подужни пад буде 0%, тако да средина терена буду на апсолутној коти 165,90 m. Падови терена су изведени од средине терена према аут линијама од 0,4%. На Слици 6 приказани су изглед Градског стадиона пре реновирања и план реконструкције стадиона, урађен је у AutoCAD-у (преузето из Пројекта реконструкције стадиона).



**Слика 6:** Изглед Градског стадиона прије реновирања и план реконструкције стадиона

Почетна фаза реновирања Градског стадиона Бања Лука било је кидање траве, након чега су уклоњени постојећи и стављени нови одводни канали и дренажне цеви. Након уградње дренажног система приступило се насипању песка различитих фракција и развођењу грејања по терену. На Слици 7 су приказани фаза постављања грејних инсталација и изглед реновираног Градског стадиона Бања Лука (преузето из Пројекта реконструкције стадиона).

**Слика 7:** Постављање грејних инсталација и изглед реновираног Градског стадиона

## 3. ЗАКЉУЧАК

Захваљујући једноставности прикупљања података фотограметријском методом, данас је могуће извршити снимање подручја од интереса у било ком тренутку, као и мерење тешко доступних елемената грађевина, што је огромна предност у односу на класичне геодетске методе прикупљања података.

Фотограметријско праћење изградње спортских објеката извршено је помоћу беспилотне летјелице Phantom 4 pro. Због квалитета те беспилотне летелице добијени су снимци добре резолуције, а накнадна обрада није захтевала пуно времена.

Фотограметријска метода снимања је погодна за праћење реконструкције спортских објеката у свим фазама извођења радова. Добијени резултати служе за израду пројекта изведеног стања, те добијање употребне дозволе.

Реконструисани спортски објекати су у функцији и имају све потребне дозволе за одигравање утакмица домаћег првенства у БиХ и учествовање у UEFA такмичењима.

Технологија и метод снимања беспилотним летелицама, омогућавају геодезији да прошири домет свог деловања и да успешно сарађује са друим струкама. Такође, применом ове технологије долази се до значајног смањења трошкова радова.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Беговић, А., Госпавић, З. (2016). Инжењерска геодезија 1, Грађевински факултет Београд.

[2] Ашанин, С. (2003). Инжењерска геодезија 1, Грађевински факултет Београд.

[3] https://dji.com/phantom-4-pro (za tabelu)

[4] https://fss.rs/wp-content/uploads/2019/07/Pravilnik-UEFA-o-infrastrukturi-2018.pdf

[5] https://scribd.com/document/386884666/Fotogrametrija

[6] https://idemo.info/stadion-tusanj-tuzla/

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# BEZBEDNOST GNSS POZICIONIRANJA, NAVIGACIJE I ODREĐIVANJA VREMENA

# SECURITY OF GNSS POSITIONING, NAVIGATION AND TIMING

SINIŠA DROBNJAK[1], SLAVKO VASILJEVIĆ[2], DEJAN VASIĆ[2], TANJA ĐUKANOVIĆ[2], SLAĐANA STANIŠIĆ[2], SANJA TUCIKEŠIĆ[2]

[1]Vojnogeografski institut – “General Stevan Bošković”, Beograd, sdrobnjak81@gmail.com
[2]Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, slavko.vasiljevic@aggf.unibl.org, dejan.vasic@aggf.unibl.org, tanja.frzovic@aggf.unibl.org, sladjana.stanisic@aggf.unibl.org, sanja.tucikesic@aggf.unibl.org

---

***Rezime:*** *Primena globalnih navigacionih satelitskih sistema (GNSS) svakodnevno postaje sve rasprostranjenija. Sa razvojem elektronske informacione tehnologije rastu i izazovi i pretnje za ovu oblast, prvenstveno kroz pojavu degradacije signala. Degradiranje satelitskog signala utiče na kvalitet pozicioniranja, navigacije i određivanja vremena, a učestalost ovih pojava biće veća kako bude rasla primena GNSS tehnologije. GNSS je, generalno, pouzdan sistem, a da bi takav i ostao, profesionalni GNSS prijemnici moraju biti zaštićeni od mogućih nepoželjnih uticaja, kako slučajnih, tako i onih koje izaziva čovek. Tehnologije za borbu sa degradacijom signala još uvek su prilično skupe, pa se njihova primena u konkretnim zadacima mora pažljivo razmotriti iz ugla ekonomičnosti. U radu su opisani najčešći oblici degradacije GNSS signala kao što su interferencija signala, njegovo ometanje, presretanje i reprodukcija i lažiranje signala, a navedene su i metode zaštite korisnika.*

***Ključne reči:*** *GNSS, interferencija, ometanje signala, presretanje i reprodukcija signala, lažiranje signala.*

***Abstract:*** *The application of global navigation satellite systems (GNSS) is becoming more widespread in everyday life. With the development of electronic information technology, the challenges and threats to this area grow, primarily the possibility of system signal degradation. Satellite signal degradation affects the quality of positioning, navigation and timing, and the frequency of these phenomena will increase as the application of GNSS technology grows. GNSS is generally a reliable system, and to remain so, professional GNSS receivers must be protected from all possible weaknesses, both accidental and man-made. Technologies to combat signal degradation are still quite expensive, so their application must be carefully considered from the point of view of the economy. This study presents the most common forms of GNSS signal degradation such as interference, jamming, meaconing, and spoofing. Also, the methods of user protection are listed.*

***Keywords:*** *GNSS, interference, jamming, meaconing, spoofing.*

---

## 1. UVOD

Navigacioni satelitski sistemi mogu biti globalni (eng. Global Navigation Satellite Systems) i regionalni (eng. Regional Navigation Satellite Systems). Trenutno postoje četiri globalna sistema: američki GPS (eng. Global Positioning System), ruski GLONASS (rus. ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система), evropski Galileo i kineski BDS (eng. BeiDou System). Grupu regionalnih sistema čine japanski QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) i indijski IRNSS/NavIC (Indian Regional Navigation Satellite System NavIC). Stalni razvoj novih i unapređenje postojećih sistema posledica je želje, interesa i mogućnosti razvijenih zemalja za uspostavljanjem sopstvenih infrastruktura za satelitsko pozicioniranje, navigaciju i određivanje vremena (eng. Position, Navigation and Timing - PNT).

Savremene PNT usluge osnova su ekonomskog rasta i razvoja, a najvažnije osobine koje se od njih očekuju su nezavisnost, tačnost i bezbednost. Primena GNSS tehnologije svakodnevno postaje sve rasprostranjenija, a tržište GNSS prijemnika za različite civilne namene tokom poslednje decenije se višestruko proširilo. Širok spektar upotrebe GNSS između ostalog obuhvata geodeziju, navigaciju na kopnu, moru i vazduhu, kosmičke aplikacije, upravljanje rizicima od prirodnih katastrofa, kao i oblasti poput poljoprivrede, šumarstva i istraživanja prirodnih resursa.

Međutim, navedene primene GNSS tehnologije prate određeni bezbednosni rizici. Sa razvojem informacione tehnologije i elektronskih komponenti rastu i izazovi i prijetnje za PNT, prvenstveno kroz mogućnost namerne degradacije signala sistema [1, 2]. Uopšte uzevši, GNSS je pouzdan sistem. To podrazumeva da su GNSS prijemnici zaštićeni od različitih ometajućih faktora, kako slučajnih, tako i namerno izazvanih. Najsigurniji oblik zaštite postiže se na korisničkom nivou (hardverskim i softverskim putem), ali takav pristup u nekim slučajevima može PNT usluge učiniti ekonomski neprihvatljivim. Iz tog razloga i institucije nadležne za satelitske sisteme čine napore da se civilni signali dodatno obezbede i zaštite od moguće degradacije. Primer ovih aktivnosti je razvoj OSNMA (Galileo Open Service Navigation Message Authentication) servisa za zaštitu integriteta PNT u okviru Galileo sistema [3].

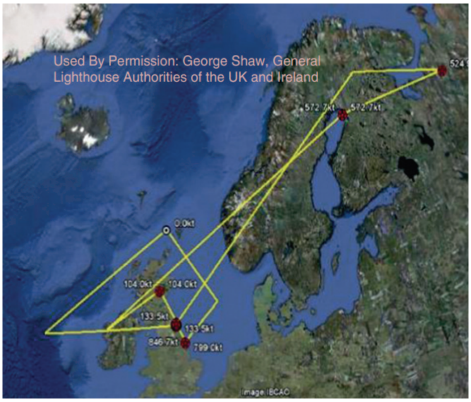
Dosadašnje publikacije o metodama i tehnologijama degradacije GNSS signala bavile su se problemima interferencije signala (eng. interference), ometanja signala (eng. jamming) i samoometanja signala (eng. self-jamming) [4]. Takođe, istraživani su izazovi i problemi u borbi sa naprednim oblicima degradacije GNSS usluga, kao što su presretanje i reprodukcija signala (eng. meaconing), kao i njegovo lažiranje (eng. spoofing) i samolažiranje (eng. self-spoofing) [5].

U ovom radu su sistematizovana dosadašnja saznanja o izazovima i pretnjama bezbednom korišćenju GNSS tehnologije za potrebe PNT. Opisane su najčešće metode i tehnologije za degradaciju GNSS signala. Za neke od njih su navedeni i karakteristični primeri iz prakse. Takođe, analizirani su oblici borbe sa pojedinim rizicima i definisani načini zaštite na korisničkom nivou.

## 2. INTERFERENCIJA GNSS SIGNALA

Potencijalni izvori interferencije GNSS signala rade u okviru istih frekvencijskih opsega, kao i GNSS. Interferencija može nastati namernim izazivanjem ili nenamerno [6, 7]. Ova pojava opisuje se kao fenomen gde drugi radio signali ometaju GNSS signale uzrokujući smanjenu tačnost PNT ili čak potpuni prekid usluga sistema. GNSS signali su signali male snage, pa ih kao takve lako može degradirati izvor elektromagnetnih talasa u frekvencijskom opsegu bliskom frekvencijama nosećih talasa GNSS signala. Strani signali dovoljne snage i sličnih frekvencija smanjuju odnos signal-šum, čime se primarno smanjuje tačnost merenja, ali se može desiti i prekid praćenja signala i merenja kodnih i faznih pseudodužina. U eksperimentu Pole Star [8], GNSS prijemnik na brodu bio je izložen namernoj interferenciji i davao je informacije o poziciji čak i nakon potpunog gubitka prijema pravih signala. Posledično je i antena satelitskog komunikacionog sistema broda bila pogrešno usmerena, što je dovelo do dodatnih grešaka u navigaciji. Sve to za rezultat je imalo višestruko pogrešnu putanju (Slika 1) kojom se brod navodno kretao od polazne tačke do konačnog cilja.

Šum u prijemniku mogu generisati i eksterni električni uređaji. Pojava šuma izazvana ovim uređajima javlja se u slučaju korišćenja prijemnika sa slabim filtriranjem signala. Izvori interferencije mogu biti izvan, ali i unutar prijemnika. Interferencija signala može nastati mešanjem signala u anteni, strujnim kolima ili provodnicima u samom prijemniku [2]. Veštački izvori interferencije mogu biti i industrijske električne instalacije, električni aparati kućnih instalacija, i sl. Najefikasniji oblik zaštite u ovom slučaju je, ukoliko je to moguće, njihovo izbegavanje u blizini GNSS prijemnika.



**Slika 1**: Putanja broda Pole Star dobijena iz pogrešno određenih pozicija pod uticajem interferencije [4]

Prirodni izvori interferencije mogu biti izvori elektromagnetnih, akustičnih i talasa sa karakteristikama sličnim GNSS signalima. Atmosfera takođe može biti izvor interferencije GNSS signala, a nastaje kao posledica elektromagnetnog zračenja širokog frekvencijskog opsega izazvanog atmosferskim naelektrisanjem. Interferencija izazvana atmosferskim uslovima najčešće samo smanjuje kvalitet, ali ne prekida usluge PNT. Radio interferencija sa druge strane, izazvana elektromagnetnim zračenjima, otežava ili čak onemogućuje prijem GNSS signala. Tehničke metode za njenu eliminaciju su razni štitovi, uzemljenja, tehnologije za balansiranje, filtriranje, izolaciju, razdvajanje i orijentaciju signala, podešavanje impedansi električnih kola, izbor električnih instalacija, potiskivanje u frekventnom ili vremenskom domenu, itd. [2].

## 3. PRESRETANJE I REPRODUKCIJA GNSS SIGNALA

Jedna od najjednostavnijih metoda degradacije je „meaconing“ [5], odnosno presretanje i ponovno emitovanje modifikovanog navigacionog signala koji nakon prijema daje pogrešne PNT informacije.

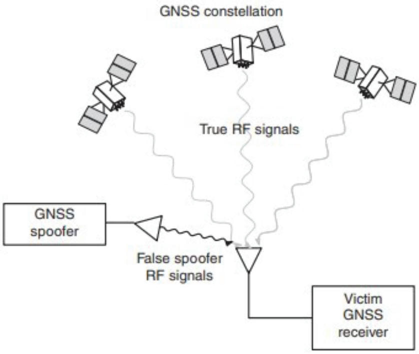
Sofisticirane verzije ove metode upravljaju sa mernim signalima, tako da čak odlučuju o konačnom PNT rešenju koje „žrtva“ treba da ostvari. Zbog prirode nastanka ovako izazvanih lažnih signala, oni za napredne verzije korisničkih prijemnika ipak ne predstavljaju veću pretnju, budući da se u konačnom rešenju pojavljuje značajan skok vrednosti PNT koji se može lako identifikovati.

## 4. LAŽIRANJE GNSS SIGNALA

Lažiranje GNSS signala je metoda kod koje se ka korisničkom prijemniku emituju lažni signali veće snage koji oponašaju prave GNSS signale (Slika 2) i koje prijemnik na kraju koristi za PNT usluge [5]. Ovo je najsloženiji oblik degradacije GNSS signala, a podržan je naprednim verzijama računarske i radio opreme. Generisanje lažnih signala je zasnovano na javno dostupnim informacijama o pravim signalima. S obzirom da postojeći satelitski sistemi nemaju razvijene metode i usluge verifikacije emitovanih signala ka korisnicima, ovaj oblik degradacije je značajan izvor nesigurnosti GNSS. Od 2021. godine Galileo sistem je prvi GNSS koji je u rad pustio OSNMA servis za proveru autentičnosti i kriptografskog integriteta primljenih signala. Postojeće tehnike protiv lažiranja signala mogu se podeliti na dva tipa: tehnike kojima se otkriva lažiranje i tehnike kojima se otklanja lažiranje [9].

Tehnologija za otkrivanje lažnih signala zasniva se na otkrivanju lažiranja praćenjem abnormalnih promena u karakteristikama signala, uključujući tehnike detekcije zasnovane na snazi signala, njihovim karakteristikama u prostoru, navigacionim porukama, praćenju kvaliteta signala, integrisanoj navigaciji i autentifikaciji. Tehnike otkrivanja lažiranja su glavne metode koje se koriste za sprečavanje lažiranja, ali one ne mogu pomoći prijemnicima da povrate sposobnost za uspešno ostvarivanje PNT.

Ovaj nedostatak pomenutih tehnika se nadoknađuje tehnikama za otklanjanje lažiranja. U pozadini ovih tehnika jesu metode koje uklanjaju otkrivene abnormalne vrednosti karakteristika signala, praćenjem autonomnog integriteta prijemnika (eng. Receiver Autonomous Integrity Monitoring) i metoda kojom se suzbija lažiranje u prostornom domenu korišćenjem tehnika obrade niza signala. Svaka predložena odbrana od lažiranja treba da bude više puta testirana u situaciji napada lažiranjem signala. Idealni testovi protiv sofisticiranog prijemnika koji emituje svoje lažne signale bili bi emitovanjem testnih signala prema njima [10, 11]. Takve testove je teško sprovesti zbog zabrane emitovanja u zaštićenim navigacionim radiofrekventnim (eng. RadioFrequency - RF) opsezima. Alternativa je povezivanje uređaja za lažiranje na korisnički prijemnik putem kombinatora signala postavljenog između antene i GNSS prijemnika [12]. Ovaj metod je pogodan za testiranje određenih tipova lažnih signala, ali ne i za jače i naprednije oblike napada.



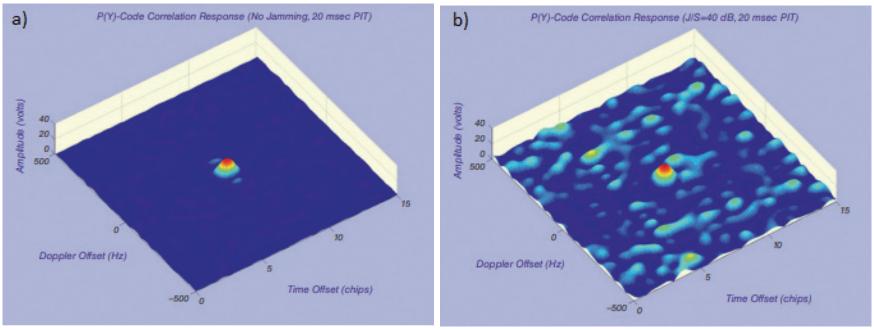
**Slika 2:** Delovanje lažnih GNSS signala u RF opsegu [5].

## 5. OMETANJE GNSS SIGNALA

GNSS ometači (jammers) su uređaji kojima se namerno izaziva degradacija satelitskih signala s konačnim ciljem njihovog ometanja i uskraćivanja njihovog prijema [13]. U zakonskom smislu, namerno izazivanje degradacije je aktivnost treće strane koja za posledice ima smetnje ili sprečavanje pravilnog prijema GNSS signala. Danas ometači mogu da se naprave uz osnovno poznavanje tehničkih disciplina, korišćenjem pristupačnih tehničkih komponenti i javno dostupnih informacija (Slika 3) [2].

**Slika 3:** Internet reklamiranje ometača: hardverska komponenta (a), aplikacije za ometanje (b) [4]

Pri namernom ometanju signala ometači emituju radio talase frekvencija sličnih frekvencijama GNSS signala i dovoljno jače snage [7] da spreče korisnike u prijemu pravih GNSS signala [14]. Na Slici 4 prikazani su primeri određivanja Doplerskih rastojanja između satelita i prijemnika, u uslovima normalnog prijema signala i u slučaju kada postoji ometač sa spektralno usklađenim signalom 10 000 puta jačim od GPS signala P(Y) koda [4].



**Slika 4:** Grafički prikaz Doplerskih rastojanja na osnovu primljenih signala: bez ometanja signala (a), sa ometanjem signala (b) [4]

U poslednjih nekoliko godina, širom sveta se ulažu značajni napori na prevazilaženju problema izazvanih ometanjem signala. Proizvod tih napora je razvoj nekoliko tehnologija i pristupa u sprečavanju pojave ometanja. Prvi pristup je implementacija filtera (vremenskih i frekventnih) u radiofrekventnoj sekciji prijemnika, čiji je osnovni zadatak uklanjanje lažnih signala [15]. Efikasnost ove tehnike zavisi od prirode ometača i kvaliteta primenjenog filtera, što je u direktnoj vezi sa cenom prijemnika. Drugi pristup je izbegavanje prijema ometajućeg signala. S obzirom da su izvori ometanja većinom na zemlji, ideja se zasniva na korišćenju antena sa tehnologijama (šablonima) koji omogućavaju samo prijem signala sa neba ili koji mogu da kontrolišu i eliminišu signale koji dolaze sa ometača. Tehnologije za borbu sa degradacijom signala su još uvek prilično skupe, pa se njihova primena u konkrentnim zadacima mora pažljivo razmotriti iz ugla ekonomičnosti [2, 16].

## 6. ZAKLJUČAK

Sa razvojem i modernizacijom GNSS tehnologije i širenjem njene primene rastu i izazovi i pretnje za ovu oblast. To se prvenstveno ogleda kroz pojavu namerne degradacije emitovanih GNSS signala koja dovodi do problema u njihovom prijemu i, indirektno, do pogrešnih PNT rešenja. Nema sumnje da će sa porastom primene GNSS i učestalost degradacije biti veća, a metode i tehnologije za ove aktivnosti biće usavršavane. Jedna od najjednostavnijih metoda degradacije je presretanje i ponovno emitovanje navigacionog signala koji prilikom prijema daje pogrešne PNT informacije. Lažiranje GNSS signala predstavlja najsloženiji oblik njihove degradacije, a podržan je naprednim verzijama računarske i radio opreme.

S obzirom da postojeći satelitski sistemi nemaju razvijene metode i usluge verifikacije emitovanih signala ka korisnicima, ovaj oblik degradacije je značajan izvor nesigurnosti GNSS [16]. Galileo sistem je prvi GNSS koji je u rad pustio servis za proveru autentičnosti i kriptografskog integriteta primljenih signala. Treba imati na umu da je ovakav servis samo jedan alat za borbu protiv mnogobrojnih tehnologija degradacije GNSS usluga. Najčešći oblik degradacije signala je njihovo ometanje, koje je naročito problematično, imajući u vidu da su tehničke komponente za izradu ometača danas lako dostupne. Može se zaključiti da se u svim oblastima gde se traži nezavisna, tačna i pouzdana primena GNSS tehnologije za PNT, posebna pažnja mora posvetiti aspektu bezbednosti na korisničkom nivou.

## LITERATURA

[1] L. Scott, “Spoofs, proofs & jamming: Towards a sound national policy for civil location and time assurance,” *Insid. GNSS*, vol. 7, no. 5, pp. 42–53, 2012.

[2] E. Ochin and Ł. Lemieszewski, “Security of GNSS,” in *GPS and GNSS Technology in Geosciences*, G. p. Petropoulos and P. K. Srivastava, Eds. Elsevier, 2021, pp. 51–74.

[3] European Commission, “GALILEO OPEN SERVICE NAVIGATION MESSAGE AUTHENTICATION (OSNMA) - USER ICD FOR THE TEST PHASE,” 2021. [Online]. Available: https://www.gsc-europa.eu/sites/default/files/sites/all/files/Galileo_OSNMA_User_ICD_for_Test_Phase_v1.0.pdf.

[4] L. Scott, “Interference: Origins, Effects, and Mitigation,” 2020, pp. 619–653.

[5] M. Psiaki and T. Humphreys, “Civilian GNSS Spoofing, Detection, and Recovery,” in *Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century: Integrated Satellite Navigation, Sensor Systems, and Civil Applications*, 2021, pp. 655–680.

[6] T. Humphreys, “Interference,” in *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*, P. J. G. Teunissen and O. Montenbruck, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 469–503.

[7] R. Wu, W. Wang, D. Lu, L. Wang, and Q. Jia, “Principles of Satellite Navigation System,” in *Adaptive Interference Mitigation in GNSS*, Singapore: Springer Singapore, 2018, pp. 1–29.

[8] A. Grant, P. Williams, N. Ward, and S. Basker, “GPS jamming and the impact on maritime navigation,” *J. Navig.*, vol. 62, no. 2, pp. 173–187, 2009.

[9] R. Wu, W. Wang, D. Lu, L. Wang, and Q. Jia, “Spoofing Countermeasure Techniques,” in *Adaptive Interference Mitigation in GNSS*, Singapore: Springer Singapore, 2018, pp. 167–199.

[10] J. Bhatti and T. E. Humphreys, “Hostile control of ships via false GPS signals: Demonstration and detection,” *Navig. J. Inst. Navig.*, vol. 64, no. 1, pp. 51–66, 2017.

[11] A. J. Kerns, D. P. Shepard, J. A. Bhatti, and T. E. Humphreys, “Unmanned aircraft capture and control via GPS spoofing,” *J. F. Robot.*, vol. 31, no. 4, pp. 617–636, 2014.

[12] M. L. Psiaki, B. W. O’Hanlon, J. A. Bhatti, D. P. Shepard, and T. E. Humphreys, “GPS spoofing detection via dual-receiver correlation of military signals,” *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 49, no. 4, pp. 2250–2267, 2013.

[13] D. Borio, C. O’Driscoll, and J. Fortuny, “GNSS Jammers: Effects and countermeasures,” in *2012 6th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies (Navitec 2012) European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing*, 2012, pp. 1–7, doi: 10.1109/NAVITEC.2012.6423048.

[14] B. W. O’Hanlon, M. L. Psiaki, J. A. Bhatti, D. P. Shepard, and T. E. Humphreys, “Real-time GPS spoofing detection via correlation of encrypted signals,” *Navig. J. Inst. Navig.*, vol. 60, no. 4, pp. 267–278, 2013.

[15] R. Wu, W. Wang, D. Lu, L. Wang, and Q. Jia, “Jamming Suppression,” in *Adaptive Interference Mitigation in GNSS*, Singapore: Springer Singapore, 2018, pp. 31–119.

[16] S. Drobnjak and I. Šikora, “Ometanje i mere zaštite GPS signala od ometanja”, SYM-OP-IS2008, *Simpozijum o operacionim istraživanjima*, Soko Banja, 2008.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА ИЗВЕДЕНИХ ГЕОПРОСТОРНИХ ПОДАТАКА У МОДЕЛИМА ПРОЦЕНЕ ВРЕДНОСТИ НЕПОКРЕТНОСТИ У ОПШТИНИ НОВИ БЕОГРАД НЕКИМ МЕТОДАМА МАШИНСКОГ УЧЕЊА

# APPLICATION OF THE DERIVED GEOSPATIAL DATA IN MODELS OF REAL ESTATE VALUE ASSESSMENT IN THE MUNICIPALITY OF NOVI BEOGRAD USING SOME MACHINE LEARNING METHODS

СТАНИСЛАВА БОСИОЧИЋ[1], ЗОРАН СРДИЋ[1], САША БАКРАЧ[2], НЕБОЈША БОСИОЧИЋ[3]

[1] АТУСС, одсек Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, stanislava98@gmail.com, zoran.m.srdic@gmail.com
2 Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, sasa.bakrac@vs.rs
3 RUN Consulting, Београд, it@runcons.rs

---

***Резиме:*** *У раду је представљена могућност примена геопросторних података као независних варијабли у моделима процене непокретности методама машинског учења. Истраживање је обухватило податке о становима на територији Новог Београда са сајтова агенција за промет непокретности, геопортала ГеоСрбија и базе података Google Earth. Коришћено је осам алгоритама машинског учења за развој модела предвиђања цена станова.*

***Кључне речи:*** *геопросторни подаци, procena vrednosti stanova, metode mašinskog učenja, regresija.*

***Abstract:*** *The paper presents the possibility of applying geospatial data as independent variables in real estate assessment models using machine learning methods. The research included data on apartments in the territory of New Belgrade from the websites of real estate agencies, the GeoSrbija geoportal and the Google Earth database. Eight machine learning algorithms were used to develop housing price prediction models.*

***Keywords:*** *geospatial data, valuation of apartments, machine learning methods, regression.*

---

## 1. УВОД

Доступност разноликом сету геопросторних података у Републици Србији омогућено је успостављањем Националне инфраструктуре геопросторних података (НИГП), преко геопортала ГеоСрбија. У надлежности Републичког геодетског завода (РГЗ) је оснивање, одржавање и управљање националним геопорталом НИГП-а. Законом о националној инфраструктури геопросторних података из 2018. године, дефинисане су теме геоподатака, као и овлашћења субјеката НИГП на прикупљању и коришћењу геоподатака. При том се под „геопосторним подацима“ сматрају подаци са директном или индиректном везом са одређеном локацијом или географском облашћу [1]. Теме геоподатака које су од значаја за област процене вредности непокретности су: административне јединице (општине, насељена места и друго), јавне установе, установе културе (позоришта, библотеке, музеји и друго), образовне установе (обданишта, основне и средње школе, факултети и високе струковне школе), здравствене установе (болнице и домови здравља) и друго.

У Републици Србији проценом вредности непокретности бави се РГЗ, кроз систем масовне процене непокретности и лиценцирани проценитељи, појединачном проценом непокретности. У РГЗ води се регистар промета непокретности [2] који се састоји од базе података у коју се уносе подаци из уговора о промету непокретности, подаци о непокретностима из базе података катастра непокретности, као и додатни подаци о прометованим непокретностима који се преузимају из упитника за регистровање промета непокретности. Допуна података о прометованим непокретностима из Регистра врши се повезивањем са подацима централне базе података катастра непокретности и базе података Адресног регистра. Подаци који се допуњују су: координате прометованих непокретности, спратност објекта, спрат на коме се налази посебан део објекта, број просторија. Калибрација модела процене се врши уз одређивање коефицијената фактора који имају значајан утицај на цену непокретности у моделу статистичким тестирањем и то методом мулти регресионе анализе. По захтеву банака, судских вештака, проценитеља, агенција за промет непокретности, као и других лица која за то имају правни интерес, РГЗ издаје извештај о оствареним купопродајама непокретности.

У области процене цене непокретности, поставља се питање коју врсту некретнине треба да обухвати процена, колику територију треба да обухвати, који временски период прикупљања података треба да буде, да би прикупљени подаци о непокретностима били упоредиви. Аутори [3] сматрају да процена непокретности треба да обухвати непокретност истог типа (посебно куће или станове), прикупљане у периоду од максимално шест до девет месеци, а да процену вредности треба вршити на најнижем административном нивоу тј. на нивоу локалне самоуправе. По питању величине територије, долази до сукоба мишљења између стручњака за процену. Једни сматрају да јединица за процену треба да је на нивоу државе, други на нивоу региона, неки на нивоу града. Исти аутори су применили вишепараметарску регресија у масовној процени непокретности на примеру дела општине Нови Београд (блокови 44, 45, 61, 62, 71, 72). Као узорак за анализу су узели вредности описаних атрибута за 100 станова за чије вредности су усвојене цене из понуде. За креирање математичког модела процене вредности станова као атрибути чије вредности утичу на цену станова узети су: површина, старост, спратност, број просторија и број купатила. Аутори утицај локацијских карактеристика станова нису узимали у обзир.

Примена модела машинског учења на процену вредности непокретности омогућава креирање математичких модела са великим бројем параметара (карактеристика станова), обраду података великог броја узорака, а нарочито формирања више модела процене. У раду [4], где је анализирана масовна процена цене станова моделима машинског учења за провинцију *Aksaray* у Турској, коришћено је 68 атрибута, а од тога су 45 атрибута имали просторне карактеристике (на пример: растојање стана до школе, парка, банке, шопинг мола, ватрогасне станице и друго).

У овом раду је приказана могућност коришћења геопросторних података, као део сета података о карактеристикама непокретности (атрибутима) у моделима процене вредности некретнина, креираних методама машинског учења. Као локација примене модела процене узета је општина Нови Београд (Слика 1).

## 2. ГЕОПРОСТОРНИ АТРИБУТИ КАО НЕЗАВИСНЕ ПРОМЕНЉИВЕ У МОДЕЛИМА ПРОЦЕНЕ ЗАСНОВАНИМ НА МАШИНСКОМ УЧЕЊУ

Геопросторни подаци се у радовима страних аутора [1, 4, 5] користе као улазни подаци за креирање математичких модела и разне врсте ГИС анализа. Геопросторни подаци могу бити структуирани и неструктуирани. Сетови геопросторних података су често обимни, имају недостајуће вредности или непотпуне и нетачне податке и као такви се не могу користити у изворном облику него се прво морају обрадити. Обрада подразумева проналажење и елиминацију грубих грешака у прикупљеним подацима које би у сету података поквариле квалитет креираног модела. Потребно је извршти и обраду геопросторних података, у виду прорачуна у сврху добијања додатних атрибута, као што је на пример рачунање дистанце између станова и појединих значајних објеката.

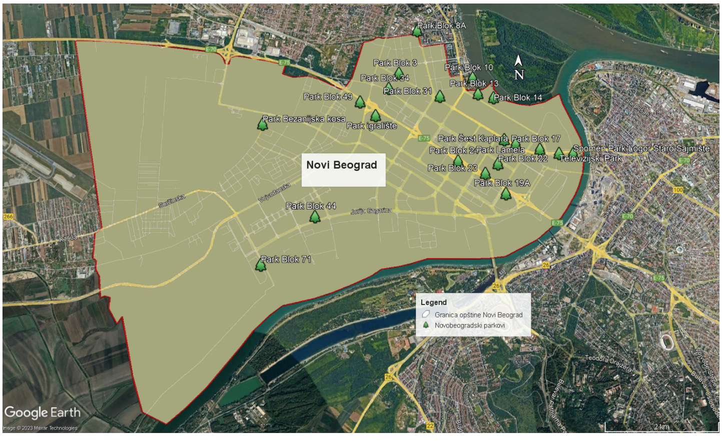
У формирању математичког модела процене вредности стана методама машинског учења на квалитет формираног модела утиче избор методе и избор атрибута, који репрезентују карактеристичне особености објекта који се моделира, а то је у овом случају стан. Зависна промењљива модела процене (*dependet variables)* је цена стана, а независне промењљиве (*explanatory variables*) представљају атрибути (варијабле) модела. Čeh et al [5] варијабле сврстава у 4 групе:

- структурне варијабле (старост некретнине, број соба и друго),
- варијабле доступности/приступачности (дистанце до школе, аутобуске станице, железничке станице, дома здравља, продавница, паркова, културних и спортских садржаја и друго),
- варијабле суседства (приход по домаћинству у околини, локална стопа незапослености и друго),
- варијабле животне средине (бука од саобраћајница, фактор погледа, загађење ваздуха и друго).

Варијабле које се односе на доступност, суседство и животну средину могу се сматрати просторним особеностима [5]. Због недоступности осталих података у раду су коришћене: структурне и варијабле доступности. У радовима страних аутора неки од фактори који утичу на процену вредности станова, а могу се сврстати у категорију просторних особености су локација стана (*N coordinate и E coordinate*) и растојање стана до значајних објеката.

Подаци за модел процене вредности стана су узети из два извора: први извор су агенције за промет непокретности (узети су подаци о површини, цени понуђених станова на тржишту, и остали структурни подаци), а други извор су геопортал ГеоСрбија и *Google Earth*, одакле су узети подаци о локацији значајних објеката у суседству посматраних станова (школе, продавнице, паркови и друго).

Геопросторни подаци о становима (*N coordinate и E coordinate*) били су доступни на сајту о некретнинама. Геопросторни подаци значајних објеката на територији Новог Београда су прикупљани користећи ГИС алат *Google Earth* и геопортал ГеоСрбија. *Google Earth* омогућава једноставно уређивање мапа [6], дефинисање пројеката и креирање и извоз карактеристика (*feature*), координата објеката. Извозне KML датотека, које садрже податке са координатама су експортоване у *Excel* фајл. *Google Earth* у својој бази има разнолике геопросторне података (на пример геопросторни подаци о парковима у Републици Србији су узети из базе *Google Earth,* а њих на геопорталу ГеоСрбија нема). *Google Earth* као пример виртуелног глобуса омогућава приступ колекцији сателитских снимака.



**Слика 1:** Мапа паркова Новог Београда - геопросторни подаци тачкастог типа преузети са *Google Earth-a*

Да би се добиле дистанце између станова и најближих значајних објеката (школа, домова здравља, паркова и друго) израчунате су еуклидска растојања између сваког стана и значајних објеката, користећи координате (латитуда и лонгитуда). Најкраћа растојања су рачуната користећи програм *Python.*

У овом раду избор атрибута (*feature*) заснован је на прегледу литературе других истраживача [3, 4, 5, 7] у зависности од доступних података. Извршена је допуна модела новим атрибутима у односу на претходно истраживање [8].

## 3. ЕКСПЕРИМЕНТ

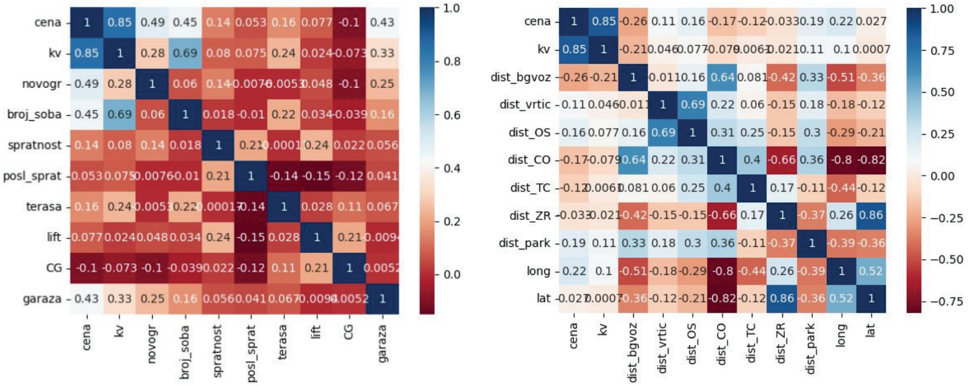
У раду су коришћени подаци о 1140 станова на територији општине Нови Београд. Подаци о становима су добијени са интернета, са сајта о некретнинама (*nekretnine.com*) и на основу тих података формирана је табела са обележјима станова који утичу на цену стана. Подаци (обележја станова), који утичу на формирање цене стана и користе се за машинско учење пре формирања модела су прошли поступак препроцесирања који подразумева: елиминацију нетачних података, проверу да ли има празних поља са непостојећим подацима и претварање текстуалних података у нумеричке (пример податак да ли има лифт или нема, замењени су нумеричким вредностима 1 или 0). Предпроцесирањем података од 1140 станова, преостало је 762.

У овом раду је коришћено девет алгоритама машинског учења за развој модела предвиђања цена станова за студију случаја за Нови Београд уз коришћење структурних и просторних варијабли (атрибута) станова. За проверу података, формирање и валидацију модела и поређење модела коришћена је платформа *Google Colab* у *Python* програмском коду (biblioteke *pandas, numpy, matplotlib* i *sklearn).*

**Табела 1:** Називи атрибута модела са потребним објашњењима

| | **атрибути** | **објашњење** | **вредности** |
|---|---|---|---|
| | cena | Цена стана изражена у еурима (цена по којој се стан продаје на тржишту). | 0 - 700000 |
| Структурни атрибути | kv | Квадратура стана без терасе (квадратура стана на којој је стан укњижен у катастру). | 0 - 190 |
| | novogr | Стан је новоградња (саграђен уназад пар година). | Да/Не |
| | broj_soba | Број постојећих просторија у стану (неки станови су изворно били на пр. 2 собни, а садашње стање је 2,5). | 0,5 – 9 |
| | spratnost | Спрат на којем се стан налази | Сутерен, приземље, високо приземље, 1- 40 |
| | posl_sprat | Стан је на последњем спрату у згради. | Да/Не |
| | terasa | Број тераса, балкона или лођа | 0-3 |
| | lift | Број лифтова у згради | 0-3 |
| | CG | Стан поседује централно грејање. | Да/Не |
| | garaza | У цену стана улази и гаража. | |
| Геопросторни атрибути | dist_bgvoz | Растојање до најближе станице БГ воза | |
| | dist_vrtic | Растојање до најближег вртића | |
| | dist_OS | Растојање до најближе основне школе | |
| | dist_CO | Растојање до центра општине | |
| | dist_TC | Растојање до најближег тржног центра | |
| | dist_ZR | Растојање до најближе зоне рекреације | |
| | dist_park | Растојање до најближег парка | |
| | long | N координата зграде | |
| | lat | E координата зграде | |

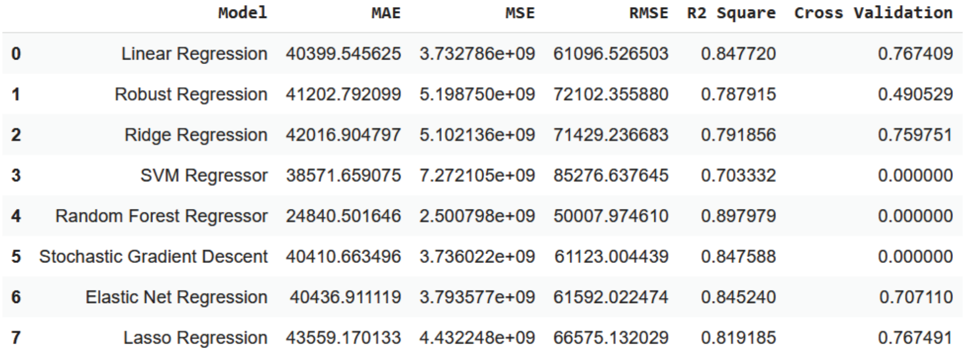
Прво је урађена провера података да ли има поља са непостојећим подацима (*non-null count*) и да ли постоји корелација између атрибута и зависне променљиве (цене) креирањем *heatmape.* Од унетих података 70% података је узето за тренирање модела, а 30% за тестирање модела. Подаци су бирани случајним узорком. Подаци су скалирани на опсег вредности [0,1].



**Слика 2:** *Heatmape* за структурне атрибуте и атрибуте доступности

Креирани су модели са различитим врстама регресора и упоређена тачност модела преко метрика MAE, MSE, RMSE и $R^2$ (коришћена је *Python* библиотека *scikit-learn*) и резултати су приказани у Табели 2. Тачност која је добијена за модел који се најбоље показао, *Random Forest*, износи 0.89.

**Табела 2:** Поређење тачности добијених модела регресије уз коришћење 8 регресора и 9 структурних атрибута и 10 геопросторних атрибута.



| | Model | MAE | MSE | RMSE | R2 Square | Cross Validation |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **0** | Linear Regression | 40399.545625 | 3.732786e+09 | 61096.526503 | 0.847720 | 0.767409 |
| **1** | Robust Regression | 41202.792099 | 5.198750e+09 | 72102.355880 | 0.787915 | 0.490529 |
| **2** | Ridge Regression | 42016.904797 | 5.102136e+09 | 71429.236683 | 0.791856 | 0.759751 |
| **3** | SVM Regressor | 38571.659075 | 7.272105e+09 | 85276.637645 | 0.703332 | 0.000000 |
| **4** | Random Forest Regressor | 24840.501646 | 2.500798e+09 | 50007.974610 | 0.897979 | 0.000000 |
| **5** | Stochastic Gradient Descent | 40410.663496 | 3.736022e+09 | 61123.004439 | 0.847588 | 0.000000 |
| **6** | Elastic Net Regression | 40436.911119 | 3.793577e+09 | 61592.022474 | 0.845240 | 0.707110 |
| **7** | Lasso Regression | 43559.170133 | 4.432248e+09 | 66575.132029 | 0.819185 | 0.767491 |

## 4. ЗАКЉУЧАК

Циљ овог истраживања је био да се методе машинског учења примене на процену цене станова, на територији општине Нови Београд уз примену структурних и геопросторних атрибута модела. Резултати експеримента су показали да се метода машинског учења, регресија, може применити на поступак предвиђања цене стана уз коришћење поменутих атрибута. Метрика тачности $R^2$ за модел који се најбоље показао, за *Random Forest* регресор је 0.89. Насеље Нови Београд карактерише подједнака заступљеност вртића, школа, продавница и спортских садржаја на целокупној територији, као и близина превоза и због тога је приметни мањи утицај тих атрибута на процену цене стана. Приликом анализе табеле корелације атрибута *heatmape,* уочава се да после површине стана (kv) следећи атрибут са највише утицаја на цену стана је новоградња (*novogr*), док параметри „удаљености до“ показују мањи утицај. Правац даљег истраживања би био да се модел процене примени на веће подручје, на пример на цео град Београд, више градова или да се примени модел на процену вредности кућа и види утицај геопросторних атрибута у том случају.

Од највећег значаја за креирање модела процене непокретности је база поузданих, прецизних и недвосмислених података о карактеристикама стана које су значајне за процену вредности за специфичну непокретност.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Закон о националној инфраструктури геопросторних података, "Службени гласник РС", број 27 од 6. априла 2018.

[2] Правилник о процени вредности непокретности. „Службени гласник РС“, број 113/14.

[3] Božić, B. i Milićević, D. (2012). Procena vrednosti nepokretnosti i njena uloga u održivom razvoju tržišta nepokretnosti u Republici Srbiji. Tehnika - Naše građevinarstvo 66.

[4] Süleyman Sefa Bilgilioğlu & Hacı Murat Yılmaz. (2021).Comparison of different machine learning models for mass appraisal of real estate. Survey Review.

[5] Čeh M, Kilibarda M, LisecA, Bajat B. (2018). Estimating the Performance of Random Forest versus Multiple Regression for Predicting Prices of the Apartments, International Journal of Geo-Information, 7, 168.

[6] Jianming L, Jianhua G, Wenhang L. (2018). Applications and impacts of Google Earth: A decadal review (2006–2016) ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 146 (2018) 91–107.

[7] Raul-Tomas Mora-Garcia, Maria-Francisca Cespedes-Lopez and V. Raul Perez-Sanchez (2022). Housing Price Prediction Using Machine Learning Algorithmsin COVID-19. Land 2022, 11(11), 2100

[8] Bosiočić S, Srdić Z, Savić D. (2022). Korišćenje mašinskog učenja za procenu vrednosti stanova u GIS okruženju, Zbornik radova “SYM-OP-IS 2022“, Vrnjacka Banja, 169-174.

# THE TWO KEY STANDARDS FOR ASSESSMENT OF SPATIAL DATA POSITIONAL ACCURACY

STEVAN RADOJČIĆ[1],VOJKAN STANOJEVIĆ[2], , RADOJE BANKOVIĆ[3]

[1] Academy of Techical and Art Applied Studies Belgrade – Department of HSCEG, stradojcic@sezampro.rs;
[2] Military Geographical Institute – „General Stevan Bošković, Belgrade, vojas71@gmail.com;
[3] Military Geographical Institute – „General Stevan Bošković, Belgrade, radojebankovic@yahoo.com

---

***Abstract:*** *This paper presents two standars for assessment of spatial data positional accuracy: the American National Standard for Spatial Data Accuracy and the NATO STANAG 2215 (Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data). Those are two important standars for assessment of spatial data positional accuracy whose applicability was tested on maps published by the Military Geographical Institute in Belgrade*

***Keywords:*** *Spatial data, Positional accuracy, Standardization, NSSDA, NATO STANAG 2215.*

---

## 1. INTRODUCTION

The digital and other modern technologies allow anyone to easily and quickly collect, process and present spatial data. The data collected in this way is often exchanged and processed to meet different needs, not only those for which it was collected. In this way, datasets are created that have non-homogeneous data, collected by different technologies and methods, in different time periods. It can be said that complete, accurate and consistent spatial data is a rarity rather than the rule.

Therefore, testing the quality of spatial data and reporting it in a documented and recognizable way is gaining more and more importance, both for the producer and for the user.

The concept of spatial data quality has been defined and elaborated in the most detail by the International Organization for Standardization ISO, with several standards belonging to the 19xxx series. One of them. ISO19113 (Geographic information – Quality principles) [5] defines several spatial quality elements which indicate quality of data set: Completeness, Logical consistency, Positional accuracy, Temporal accuracy and Thematic accuracy.

Positional accuracy has traditionally been evaluated by comparing coordinates from dataset to coordinates of the same points collected from field or from another source with greater coordinate accuracy (usually at least three times greater accuracy is required in relation to the accuracy of the coordinates being tested). Following this idea, there are many statistical methodologies for positional accuracy assessment, for example: National Map Accuracy Standard (NMAS), Engineering Map Accuracy Standard (EMAS), National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA), NATO STANAG 2215, ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps (ASLSM), ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data (ASDGD), etc,

Among them, two standards stand out, both of which can be applied to both digital data (in raster or vector form) and non-digital data, and which are applied to a wide range of products by a large number of countries. Those are National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) and NATO STANAG 2215.

## 2. THE NATIONAL STANDARD FOR SPATIAL DATA ACCURACY

The standard is developed by Federal Geographic Data Committee of the USA [3]. For positional accuracy evaluation, it relies on comparing two sets of data – one with values taken from a dataset and another with values of the same points taken as reference value.
Reference values must be at least three times more accurate than the first one, and must be acquired separately from the data set being tested. For the purpose of accuracy testing only *well-defined points* are selected; well-defined points are those points that are clearly visible both on the dataset being evaluated an on the reference dataset (or land). In the case of maps, for example, suitable well-defined points are represent right-angle intersections of roads, railroads or other linear mapped features,then monuments, lonely items, etc.

The well-defined points must be evenly distributed across the dataset. For example, within a map sheet, points may be distributed so that are spaced at intervals of at least 10% of the diagonal distance across the sheet and at least 20% of the points are located in each quadrant of the map sheet (Figure 1). The standard requires a minimum of 20 test points shall be tested, evenly distributed to reflect the geographic area of interest.

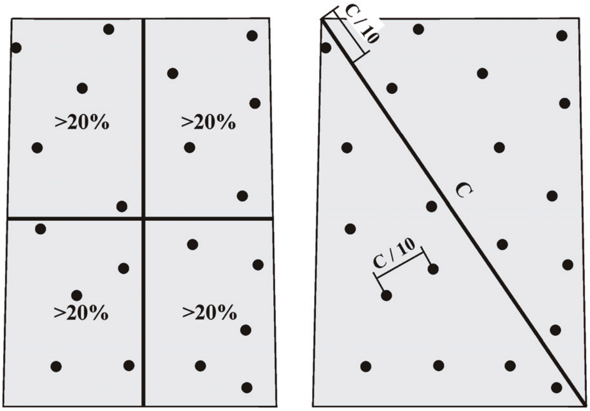


**Figure 1:** Arrangement of well-defined points

### 2.1. Calculating horizontal and vertical accuraccy estimation

For horizontal accuracy estimation, for each data set the root mean square errorby axes (*RMSE*$_y$ and *RMSE*$_x$) are calculated, according to:

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_1^n dy^2} \; ; \; RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_1^n dx^2} \tag{1}$$

where:
$dy_i = (y_{map} - y_{ref})_i$ – differences of the measured and reference values along the y - axis
$dx_i = (x_{map} - x_{ref})_i$ – differences of the measured and reference values along the x - axis
*n*– the number of test points
*i* – an integer ranging from 1 to *n*.

Horizontal error at point *i* is defined as:

$$RMSE_i = \sqrt{dy_i^2 + dx_i^2} \tag{2}$$

and *RMSE* of the data set (sheet) is

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{1}^{n} dy^2 + \frac{1}{n}\sum_{1}^{n} dx^2} = \sqrt{RMSE_y^2 + RMSE_x^2} \tag{3}$$

In order to get accuracy reported at the 95% confidence level (denote by $Accuracy_r$), further computing depends on whether $RMSE_y$ and $RMSE_x$ are equal to each other or not.

If $RMSE_y = RMSE_x$, than:

$$RMSE_r = \sqrt{2RMSE_y^2} = \sqrt{2RMSE_x^2} = 1{,}4142RMSE_y = 1{,}4142RMSE_x \tag{4}$$

If errors are normally distributed and independent in each the x- and y- component error, the factor 2,4477 is used to compute horizontal accuracy at the 95% confidence level [4], so:

$$Accuracy_r = 2{,}4477RMSE_r / 1{,}4142 = 1{,}7308RMSE_r \tag{5}$$

Analogous, if $RMSE_y \neq RMSE_x$, than:

$$Accuracy_r = 2{,}4477 \cdot 0{,}5\left(RMSE_y + RMSE_x\right) = 1{,}2238\left(RMSE_y + RMSE_x\right) \tag{6}$$

For vertical accuracy estimation, for each data set the root mean square error of the vertical coordinate (height) is calculated, according to:

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n}\left(z_{map} - z_{ref}\right)_i^2} \tag{7}$$

where:
$z_{map}$ – vertical coordinate of the i th test point in the dataset
$z_{ref}$– vertical coordinate of the i th test point in the independent source of higher accuracy
$n$ – the number of test points
$i$ – an integer ranging from 1 to n

If vertical error is normally distributed, the factor 1,9600 is applied to compute linear error at the 95% confidence level [4]. Therefore, vertical accuracy, $Accuracy_z$, shall be computed by the formula:

$$Accuracy_z = 19600RMSE_z \tag{8}$$

## 3. THE NATO STANAG 2215

The NATO Standardization Agreement (STANAG) signed as 2215 (*Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data*) is one of about 70 standards by which North Atlantic Treaty Organization regulates issues related to geographic information and geotopographic datasets (the so-called IGEO /Interservice Geospatial/ standards) [6]. STANAG 2215 has a similar approach, but much stricter criteria: number of well/defined points must be at least 167 per sheet (dataset), the reference values must be at least five times more accurate, and it hac better statistics that include a gross error test.

The standard defines absolute and relative (point-to-point) accuracy. The absolute horizontal accuracy represents the uncertainty of the two-dimensional position (relative to the horizontal datum) and is expressed as an circular error with a 90% confidence level. Absolute vertical accuracy is the uncertainty of the height of the point relative to the vertical datum and is expressed as a linear error with a 90% confidence level. The relative horizontal (vertical) accuracy represents the uncertainty of the difference in position (height) of two points, and is expressed as an circular error (ie as a linear error) with a 90% confidence level (this circular error is usually denoted as CMAS – Circular Map Accuracy Standard). The STANAG 2215 describes in detail the procedure for assessing absolute horizontal and absolute vertical accuracy; absolute geometric accuracy is determined by combining the results of the absolute horizontal and absolute vertical accuracy tests, and the same statistics apply to the assessment of relative accuracy.

### 3.1. Calculating horizontal and vertical accuraccy estimation

In the process of evaluating the absolute horizontal accuracy, first the circle of standard deviation (error) $\sigma_c$ is calculated, based on the linear standard deviations along the y-axis (marked with E, from Easting) and x-axis (marked with N, from Northing), i.e.:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}{2}} = \sqrt{\frac{1}{2}\left[\frac{\sum\left(\delta E_i - \overline{\delta E}\right)^2 + \sum\left(\delta N_i - \overline{\delta N}\right)^2}{n-1}\right]} \tag{9}$$

where:

$\delta E_i$, $\delta N_i$ – individual differences of the measured and reference coordinates along the E and N

$\overline{\delta E}$, $\overline{\delta N}$ – arithmetic means of the differences along the coordinate axes.

Next, testing the data set for the presence of gross errors is approached. Residuals R whose value is greater than the limit value $M_2 \cdot \sigma_c$ are tested, i.e.:

$$R = \sqrt{\left(\delta E_i - \overline{\delta E}\right)^2 + \left(\delta N_i - \overline{\delta N}\right)^2} > M_2 \cdot \sigma_c \tag{10}$$

where the value of $M_2$ is calculated depending on the sample size (or degrees of freedom, $n$–1) according to:

$$M_2 = \sqrt{2{,}5055 + 4{,}6052 \cdot \log_{10}(n-1)} \tag{11}$$

Unlike the NSSDA, STANAG 2215 also prescribes certain testing for the presence of systematic errors, i.e. determining whether the mean values of the coordinate differences $\overline{\delta E}$ and $\overline{\delta N}$ are significantly different from zero. The difference is considered significant if zero is outside the intervals ($\bar{x} - t_{10\%} \cdot \sigma_{\bar{x}}$) and ($\bar{x} + t_{10\%} \cdot \sigma_{\bar{x}}$), where:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \tag{12}$$

$\bar{x}$ – mean value in the direction of one or the other axis, i.e. $\overline{\delta E}$ или $\overline{\delta N}$

$\sigma_x$ – the root mean square error along the appropriate coordinate axis, $E$ or $N$

$t_{10\%}$ – the value of the Student's (t) distribution with a significance level of 10%, for n–1

Finally, the CMAS is calculated. If testing shows that $\overline{\delta E}$ and $\overline{\delta N}$ are not significantly different from zero, CMAS is calculated according to: $CMAS = 2{,}1460\sigma_c$ and, on the contrary, according to:

$$CMAS = \sigma_c \cdot \left[1{,}2943 + \sqrt{\left(\frac{d}{\sigma_c}\right)^2 + 0{,}7254}\right] \tag{13}$$

where:

$$d = \sqrt{\left(\overline{\delta E}\right)^2 + \left(\overline{\delta N}\right)^2} \tag{14}$$

Based on the *CMAS* value, datasets is classified into one of five classes (from higher A to lower E).

In the process of assessment of **absolute vertical accuracy**, height differences are first formed based on individual differences of measured and reference heights $\delta H_i$, the mean value of all differences $\overline{\delta H}$ and the number of points (differences) on the basis of which $n$ is evaluated, according to:

$$\sigma_M = \sqrt{\frac{\sum\left(\delta H_i - \overline{\delta H}\right)^2}{n-1}} \tag{15}$$

Then, the set is tested for gross and systematic errors and finally, a linear error with a 90% confidence level is calculated (designated as LMAS, abbreviation of Linear Map Accuracy Standard). If the test shows that $\overline{\delta H}$ is not significantly different from zero, the *LMAS* is calculated according to: $LMAS = 1{,}645\sigma_M$ and, on the contrary, according to:

$$LMAS = \sigma_M \left[ 1{,}645 + 0{,}92 \cdot \left( \frac{\left|\overline{\delta H}\right|}{\sigma_M} \right)^2 - 0{,}98 \cdot \left( \frac{\left|\overline{\delta H}\right|}{\sigma_M} \right)^2 \right] \tag{16}$$

Based on the *LMAS* value, datasets is classified into one of five classes (from higher 0 to lower 5).

## 4. SOME EXPERIENCES IN DOMESTIC IMPLEMENTATION OF TWO STANDARDS

Both standards have been used on several occasions to analyze the positional accuracy of vector and raster maps published by the Military Geographical Institute in scales 1: 25 000 and 1: 50 000 [1], [2], [7]. The analyzes were carried out over several years, within different projects and with different participants.

The obtained results show that STANAG2215 gives a more reliable assessment, which was expected, considering the difference in the minimal number of points on which the assessment is made (20 versus 167). In one study [7] the NSSDA was previously modified by increasing the number of minimum points from 20 to 30 and introducing a gross error test modeled after STANAG2215, in order to make the evaluation more reliable. Indeed, that approach gave better results compared to the original one, with a slight increase in the scope of work, ie costs.

Both standards give close results [7], which means that NSSDA has the advantage in practice, because its application is more economical. However, the obtained conclusion are valid only when the positional accuracy of the examined dataset is homogeneous. In order for the positional accuracy of a dataset to be considered homogeneous in advance, it is necessary to consistently apply the same technology and the same methods during data collection and data processing.

Otherwise, when homogeneity cannot be expected (for example, when the dataset consists of data collected over a long period of time, using different technologies and methods), the application of STANAG2215 is preferred.

## 5. CONCLUSION

The NSSDA and STANAG 2215 have the same goal, but differ in approach. Both seek to estimate the positional accuracy of datasets in an exact and comparable manner.

The NSSDA takes care not only of the assessment of accuracy, but also of the economy of the assessment procedure itself, so it has relaxed criteria that relate primarily to the number of reference points.

On the other hand, STANAG2215 does not make such compromises, but requires that all conditions required by applied statistics be respected. The fact is that these requirements are not always easy to fulfill, but on the other hand, a statistically more reliable assessment is obtained.

Therefore, the application of one or another standard depends primarily on the needs of the user, the quality (homogeneity of positional accuracy) of the dataset and available resources. The relieving fact is that for datasets with homogeneous positional accuracy, the application of STANAG2215 has no significant advantage over the application of NSSDA.

## REFERENCES

[1] Bozic, B., Drobnjak, S. (2018). Evaluation of positional accuracy of digital topographic maps at scale 1:25 000 (DTM25) on the basis of STANAG 2215 standard. Military Tehnical Courier, 66, 106–119

[2] Bozic, B., Radojcic, S. (2011). Horizontal Accuracy of 1:50 000 Digital Topographic Maps. Survey Review, 43(319), 94–104

[3] Federal Geographic Data Committee (1998). Geospatial Positioning Accuracy Standards – Part 3 – National Standard for Spatial Data Accuracy, Washington: FGDC

[4] Greenwalt, C. R. and Shultz, M. Z. (1968). Principles of error theory and cartographic applications, ACIC. Tehnical report No. 96, St. Louis, Missouri: Aeronautical Chart and Information Center

[5] International Organization for Standardization (2000) ISO19113: Geographic information – Quality principles, Geneva: ISO

[6] NATO Standardization Agency (2002). STANAG 2215 : Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data, Brussels: NSA

[7] Radojčić, S. (2008). Analiza horizontalne položajne tačnosti digitalne karte 1:50.000 izdanja Vojnogeografskog instituta, PhD Thesis, Belgrade: Military Academy

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# АНАЛИЗА ТЕНКОПРОХОДНОСТИ ДЕСНЕ СТРАНЕ ТОКА РЕКЕ ДРИНЕ ПРИМЕНОМ ГИС-А

# ANALYSIS OF THE PASSABILITY OF TANK UNITS ON THE RIGHT SIDE OF THE DRINA RIVER USING GIS

СТЕФАН ПЕТРОВИЋ[1], НОВАК РОГАНОВИЋ[2], ВАЛЕНТИНА РАДОЊИЋ[3]

[1] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, s.petrovic293@gmail.com,
[2] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, novakroganovic1999@gmail.com,
[3] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, valentinaradonjic2308@gmail.com

---

***Резиме:*** *Простор, као фактор оружане борбе је од изузетног значаја за употребу оклопних јединица. Стога, не чуди појава термина тенкопроходности којим се простор класификује према могућностима њиховог ангажовања. За дефинисани простор извршена је вишекритеријумска квантитативна анализа простора, која је узела у обзир следеће критеријуме: нагиб терена, начин коришћења земљишта и саобраћајну инфраструктуру. За обраду просторних података коришћена је софтверска платформа ArcGIS.*

***Кључне речи:*** *ArcGIS, квантитативна анализа, нагиб терена.*

***Abstract:*** *Space, as a factor in armed combat, is extremely important for the use of armored units. Therefore, it is not surprising that the appearance of the term tank passability, which classifies the space according to the possibilities of their engagement. For the defined space, a multi-criteria quantitative analysis of the space was performed, which took into account the following criteria: terrain slope, land use and traffic infrastructure. The software platform ArcGIS was used for spatial data processing.*

***Key words:*** *ArcGIS, quantitative analysis, terrain slope.*

---

## 1. УВОД

Представљање терена и земљишних облика уопште на конвенционални начин на топографским картама (ТК) је много теже него представљање било ког другог картографског садржаја. Појавом ГИС технологије створени су повољнији услови за креирање и представљање природног и просторног изгледа рељефа.

Без обзира на достигнућа у развоју фактора оружане борбе, посебно материјалног и информационог, простор је и даље један од њених основних фактора. Располагање са потпуним, веродостојним, једноставним за коришћење и правовременим информацијама о географским појавама и чиниоцима и њиховим утицајима, услов су за доношење правилних одлука приликом извршавања различитих задатака у различитим ситуацијама. Досадашњи приступ простору ограничавао се на више или мање статичне информације, да би се развојем и увођењем технологија географских информационих система, многи, условно, непросторни подаци добили просторно значење [1].

У раду је дата анализа тенкопроходности у граничном појасу са БиХ на основу три критеријума: нагиба терена, саобраћајне инфраструктуре и начина коришћења земљишта. Анализа је извршена у софтверском пакету *ArcGIS*.

## 2. КАРАКТЕРИСТИКЕ ГРАНИЦЕ СРБИЈЕ И БОСНЕ И ХЕРЦЕГОВИНЕ

У физичко-географском погледу рељеф граничног појаса карактеришу две целине: долинска уз реке Саву и Дрину и средњепланинска.

Долинска целина може се поделити на јужну, од тромеђе са Црном Гором до планине Гучево, коју карактерише низијски рељеф са равничарским и мочварним заобаљима, те северну од Гучева до Брусничког потока, где долина Дрине има стрме стране са уским заобаљима, местимично и клисурасте. Рељеф уз границу са обе стране до Лознице је низијски и добро проходан. Прилази граничном појасу из Мачве и Семберије су веома повољни за оклопну борбену технику. Реке Сава и Дрина јављају се као јаке водене препреке.

Граница, са средњепланинским рељефом, природно је веома јака. Од Лозничког поља до Брусничке реке Дрина је клисурастог, а местимично и кањонског типа, тешко проходна ван путева и погодна за зарушавање. Земљиште са обе стране границе је планинско, тешко проходно, па су прилази Дрини каналисани на путне правце који изводе на уређена места прелаза и мостове. Најосетљивија места границе ратишта налазе се у захвату природних отвора и превоја.

Наш простор истраживања чини 11 пограничних општина, чија је укупна површина 6.320 km$^2$. Гледано од севера ка југу то су Шид 687 km$^2$, Сремска Митровица 762 km$^2$, Богатић 384 km$^2$, Шабац 795 km$^2$, Лозница 612 km$^2$, Мали Зворник 184 km$^2$, Љубовија 356 km$^2$, Бајина Башта 673 km$^2$, Ужице 667 km$^2$, Чајетина 647 km$^2$ и Прибој 553 km$^2$ (Слика 1).

**Слика 1:** Карта пограничних општина

## 3. МЕТОДОЛОГИЈА РАДА

Аналитики хијерархијски процес (АХП) је метод за подршку процеса доношења одлука који се заснива на формирању хијерархије проблема и оригиналној процедури за вредновање елемената по нивоима хијерархије док се у коначној синтези не утврде тежине свих елемената (алтернатива) на најнижем нивоу у односу на елемент на највишем нивоу.

Нумеричке оцене поређења парова елемената на датом нивоу хијерархије уносе се у матрицу поређења која је реципрочна, односно елементи из горњег троугла су симетрично реципрочни елементима из доњег троугла, доксу елементи на главној дијагонали једнаки 1 (Табела1) [5].

**Табела 1:** Критеријум за пограничне општине

| | Нагиб терена | CLC | Саобраћајнице |
|---|---|---|---|
| Нагиб терена | 1 | 1.50 | 4 |
| CLC | 0.67 | 1 | 3 |
| Саобраћајнице | 0.25 | 0.33 | 1 |

У оквиру софтвера *ArcGIS/Spatial Analyst* значајна је могућност *Raster Calculator* преко које се добија комбиновани растер у који су урачунати тежински коефицијенти који су приказани у Табели 2. Они су добијени квадрирањем матрице, затим сабирањем вредности по редовима, израчунавањем укупне вредност свих добијених збирова по редовима и проналажења удела сваког збира по реду, у укупној вредности. Сходно томе, када се саберу, резултат је 1. За резултате који ће овде бити приказани, критеријуми су дати у табели испод. За саму анализу, као и за картографски приказ, коришћен је софтвер *ArcGIS/Spatial Analyst/ Raster Calculator*.

**Табела 2:** Тежински коефицијенти за пограничне општине

| Критеријуми | Тежински коефицијент |
|---|---|
| Нагиб терена | 0.477 |
| Начин коришћења земљишта (CLC) | 0.328 |
| Саобраћајна инфраструктура | 0.195 |

## 4. КРИТЕРИЈУМИ

### 4.1. Нагиб терена

Нагиб терена може се изразити у процентима и промилима. Угао нагиба терена има велики значај у одређивању предиспозиција неког простора за одвијање различитих процеса у природној средини, а посебно је значајан за спровођење људских активности. Ради лакше анализе и сагледавања потенцијалних могућности за развој неког географског простора, извршена је општа класификација терена (Табела 3) у зависности од нагиба [6].

**Табела 3:** Општа класификација терена у зависности од величине угла нагиба

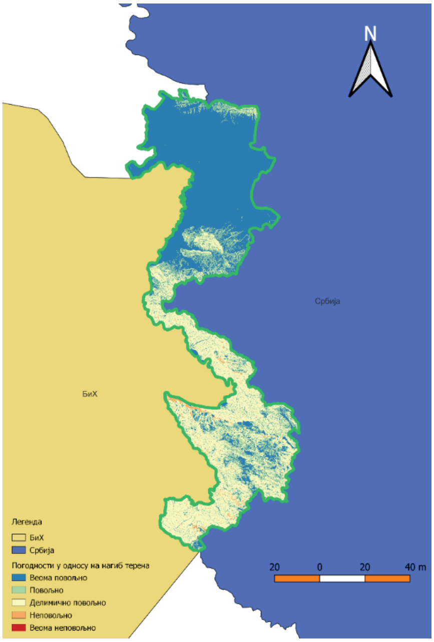
| Угао нагиба | Тип терена у зависности од величине угла нагиба |
|---|---|
| до 1˚ | раван терен |
| 1-3 ˚ | врло благо нагнут терен |
| 3-5 ˚ | благо нагнут терен |
| 5-8 ˚ | прилочно нагнут терен |
| 8-12 ˚ | искошен терен |
| 12-16 ˚ | врло искошен терен |
| 16-20 ˚ | умерено стрм терен |
| 20-30 ˚ | средње стрм терен |
| 30-40 ˚ | јако стрм терен |
| преко 40 ˚ | - |

Тенкопроходност је једна од најзначајнијих функција коју условљава рељеф терена. При сагледавању тенкопроходности могу се издвојити одређене варијанте терена што је приказано у Табели 4 [1].

**Табела 4:** Тенкопроходност у зависности од величине угла нагиба терена

| Угао нагиба | Тенкопроходност |
|---|---|
| до 5 ° | тенкопроходно |
| 5-10 ° | ограничено тенкопроходно |
| 10-30 ° | јако ограничено тенкопроходно |
| преко 30 ° | тенконепроходно |

На основу дефинисаних параметара, а применом наведеног софтверског решења генерисана је карта, која је приказана на Слици 2.



**Слика 2:** Генерисана карта на основу дефинисаних параметара (вредности угла нагиба терена)

## 4.2. Начин коришћења земљишта

Вегетациони покривач, поред нагиба терена, представља један од најзначајнијих чинилаца при анализи и одређивању проходности одређеног земљишта ван комуникација [6]. Предели покривени ливадама и ниском вегетацијом, као и пољопривредно земљиште, при нормалним атмосферским условима, представљају добар терен за кретање тенкова. Са друге стране, није страно коришћење тенкова у шумовитим пределима, али се генерално, шуме пре користе за камуфлажу, него за само премештање јединица.

Тенкови се могу кретати и по мочварном земљишту у случају велике нужде, јер често долази до глављења и потребе за коришћењем приручних средстава како би се возила поново покренула. На дуже стазе, увек се планира избегавање мочварног земљишта. Мање водене површине, не заустављају кретање тенкова, али га успоравају. У реалним условима, као и за мочварно земљиште, планира се кретање које не укључује форсирање река.

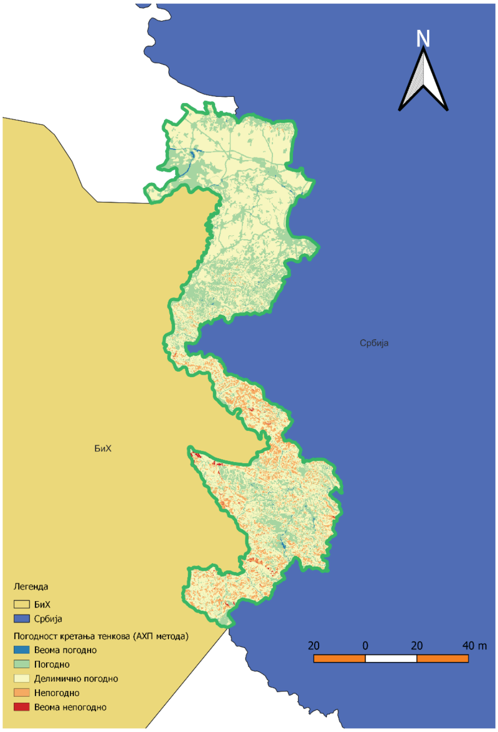
## 4.3. Саобраћајна инфраструктура

Тенк јесте конструисан за кретање по најразличитијим теренима, али ако се говори о најбржој и најефикаснијој употреби тенкова, не могу се заобићи модерне саобраћајнице.

У мирнодобским условима, тенкови се, када су у питању дуже релације, увек превозе возилима која су за то специјализована. Ради се о уштеди горива, али и очувању асфалта, јер тежина тенка у комбинацији са гусеницама, веома оштећује асфалт. Колона тенкова на аутопуту је призор који се нигде не среће. Ипак у ситуацијама брзог продора, постоји потреба да тенкови константно буду на располагању. Тада је њихово дејство најизраженије на комуникацијама и непосредно у ужем захвату истих. Ипак, мана оваквог кретања је предвидивост и велика осетљивост тенкова на нападе из ваздуха, уколико нису добро праћени сопственом авијацијом.

## 4.4. Резултат

Како се испоставило, на основу задатих тежинских коефицијената, финални резултат, дат на Слици 3, највише сугерише да мачвански гранични одсек посебно погодује употреби оклопних јединица и да је насеље Богатић, које се налази веома близу границе посебно осетљив. Цела долина реке Саве и градови који се налазе дуж комуникација које туда пролазе веома су осетљиви на кретање тенкова.



**Слика 3:** Карта кретања тенкова у односу на дефинисане улазне параметре

## 5. ЗАКЉУЧАК

Оклопне и механизоване јединице, које се одликују великом покретљивошћу, морају бити способне да брзо одаберу пут до свог циља, те морају добро и детаљно познавати тенкопроходност земљишта и квалитете комуникационе мреже на свом правцу дејства.

Ограничено време за процену ситуације и доношење реалних одлука, у условима брзих и динамичних дејстава, не обезбеђује увек услове за изучавање земљишта и прикупљање података о њему. Правовремено прикупљени подаци приказани на карти тенкопроходности, уз податке прикупљене на земљишту у току планирања и извођења борбених дејстава, олакшавају и убрзавају процену елемената неопходних за реално одлучивање о употреби јединице.

Потреба за картом тенкопроходности није само због употребе сопствених оклопних и механизованих јединица већ и због брзе процене и потпунијих закључака о могућим дејствима непријатељевих оклопних и механизованих јединица и предузимању одговарајућих мера у организацији борбе са њима. Технологија је постала доступна великом броју људи, уколико познајемо могућности технологије то јест адекватних софтвера за анализу простора можемо у реалном времену успешно одговорити на све изазове, ризике и претње.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Гиговић Љ. (2010): Дигитални модели висина и њихова примена у војној анализи терена. Војнотехнички гласник 2/10, стр.165-178.

[2] Војногеографски институт (1973): „Упутство за израду карте тенкопроходности земљишта територије СФРЈ размера 1:200000“, Београд.

[3] Гиговић Љ, Секуловић Д. (2009): Војна географија I, Одбрана, Београд.

[4] Стишовић М, Лазић Ж. (2002): Тенкови света, НИЦ „ВОЈСКА”, Београд.

[5] Срђевић Б, Сувочарев К, Срђевић З. (2009): Аналитички хијерархијски процес: индивидуална и групна конзистентност доносилаца одлука. Водопривреда; 41 (1-3), стр.13-21.

[6] Борисов М, Банковић Р, Дробњак С. (2011): Евалуација морфометријских карактеристика земљишта при изради карте тенкопроходности. Војнотехнички гласник 1/11, стр. 62-80.

# ГРАФОВИ И МРЕЖЕ
# GRAPHS AND NETWORKS

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# STRUCTURAL RELEVANCE BEYOND THE HIGH CORRELATIONS

MIROSLAV ANĐELKOVIĆ[1], SLOBODAN MALETIĆ[1]

[1] Vinca Insitute of Nuclear Sciences, National Institute of the Republic of Serbia, University of Belgrade,
Belgrade, {mandjelkovic,supersloba}@vin.bg.ac.rs

---

***Abstract:*** *The presented research intends to shed light on the efficiency of the toolset for analyzing real world complex systems developed within the framework of algebraic topology.. The case study analyzed is historical data from NASA's Tropical Rainfall Measuring Mission from 1998 to 2020 in the State of Pernambuco in Brazil. The apparatus used in this research is the enhanced Q-analysis, and the results of system properties helped to detect and identify the most influential parts of the system as well as the meta-network that unites them.*

**Keywords:** *algebraic topology, complex systems, Q-analysis.*

## 1. INTRODUCTION

Complex systems' production of vast amounts of data induced the development of new methods for analyzing relations between elements of the dataset. Within this context, the algebraic topological applications produced a set of powerful techniques for extracting meaningful and valuable patterns embedded within complex systems

Due to climate change, more severe floods and droughts are expected in tropical regions with huge consequences on food production, water, health, etc. Thus, it seems that a better understanding of phenomena about changes in rainfall dynamics based on historical data can help us learn about what to expect and how to react. Routinely, classical statistical methods were used to study rainfall dynamics, creating vast chaos theory models with multifractal analysis, complex networks, and information measures.

On the other hand, methods originating from the algebraic topology have not been used for this type of analysis or just some of its aspects. Recent years brought us expansion in the utilization of topological data analysis applications in various branches of scientific research. For this analysis, we used advanced methods that originate from the Q-analysis [1], and its basic and derived properties to analyze the case study that will be introduced in the next section.

The main focus of this research is the introduction of the new method which pinpoints and extracts the most influential parts of the complex system beyond high correlation that cannot be detected using graph theory and statistical mechanics methods.

## 2. DATA SET DESCRIPTION AND PMFG METHODS

For the case study, the data was obtained from NASA's Tropical Rainfall Measuring Mission precipitation processing system at https://gmp.nasa.gov/mission/trmm. The data represents rainfall dynamics in the Pernambuco state, Brazil, for the period 1998 to 2020, with a spatial resolution of $0.25^0$ and a temporal resolution of 3 hours. From collected files, time series were created for individual areas overlapping the state of Pernambuco. Using the Pearson correlation coefficient, between cell pairs for a year time frames at different offsets, a correlation matrix was constructed.

Initially, the PMFG algorithm was applied to a correlation matrix creating a mathematical graph. Briefly, planar Maximally Filtered Graph (PMFG) method [2] takes a correlation matrix, formatting it into a mathematical graph under the constraint of embeddedness on a surface. Let *C* be the correlation matrix in which entry $C_{\mathrm{ij}}$ represents values of similarity measure between areas *i* and *j*. PMFG algorithm takes entries $C_{\mathrm{ij}}$ and arranges them in descending order, so $C^{\mathrm{ord}}$ represents a sequence of pairs of areas putting them in descending order. Thus, the mathematical graph is built where areas are representing nodes, and links are assembled by following construction rules. The first link is created between areas with the highest correlation value. Afterward, a link from the ordered $C^{\mathrm{ord}}$ is added to the graph only if thus obtained graph is embedded on the surface of genus $g$=0 after the introduction of a new link. As emphasized in [2], maximally permitted clique (completely connected subgraph) can be of order 4.

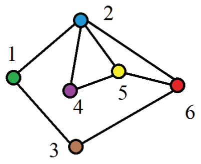
As an example, let's start with the correlation matrix $C_{ij}$ in Fig.1(a), and after applying the PMFG algorithm, the mathematical graph Fig.1.(c) is created in which nodes are identified as row (column) index and the links between them are constructed after the application of PMFG algorithm (marked values in the correlation matrix $C_{ij}$ in Fig.1(a) ). Also, adjacency matrix Fig.1.(b) is obtained where marked values becomes 1 representing links in the mathematical graph, and other values become 0s.

$$\begin{pmatrix} 1 & \mathbf{0.78} & \mathbf{0.62} & 0.03 & 0.15 & 0.37 \\ \mathbf{0.78} & 1 & 0.12 & \mathbf{0.56} & \mathbf{0.81} & \mathbf{0.62} \\ \mathbf{0.62} & 0.12 & 1 & 0.21 & 0.17 & \mathbf{0.50} \\ 0.03 & \mathbf{0.56} & 0.21 & 1 & \mathbf{0.48} & 0.09 \\ 0.15 & \mathbf{0.81} & 0.17 & \mathbf{0.48} & 1 & \mathbf{0.58} \\ 0.37 & \mathbf{0.62} & \mathbf{0.50} & 0.09 & \mathbf{0.58} & 1 \end{pmatrix}$$

(a)

$$\begin{array}{c c} & \begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{array} \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{array} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

(b)



(c)

**Figure 1:** Example of construction of the network from the correlation matrix (a) after applying PMFG algorithm, and resulted adjacency matrix (b) of the mathematical graph (c).

## 3. SIMPLICIAL COMPLEXES AND TOPOLOGICAL QUANTITIES

The origin of quantities, common and derived, introduced in the current section originate from the algebraic topology framework, more specifically, the Q-analysis [1,3]. Let *A* and *B* be two finite sets whose elements are related by a binary relation λ, so that the given element of *A* interacts with a subset of elements of *B*. When defined in this way, from now on, elements from *B* are called vertices, and elements from *A* are called simplices. Nontrivial structure, simplicial complex $K_B$(A, λ) together with their faces (i.e. subsimplices), is the triplet defined by the set A, the set B, and relation λ and it is a collection of all simplices $\sigma_q$ merged. The dimension of a simplex formed by $q$+1 vertices is $q$, and geometrically, a point is 0-simplex, an edge is 1-simplex, a triangle is 2-simplex and so on. Generally speaking, $q$-simplex is represented by a polyhedron that contains $q$+1 vertices. A simplicial complex is a collection of all simplices glued together into a single multidimensional structure.

A simplicial complex represented via incidence matrix Λ whose elements can be 0s and 1s. If a pair of elements $(a_i,b_j)$ is related, the corresponding matrix element $\Lambda_{\mathrm{ij}}$=1, otherwise is 0. Hence, let *m* be a number of elements of set *A* and *n* be the number of elements of set *B*, then the incidence matrix Λ has dimension $m\times n$.

Two simplices share a face of dimension $p$ if they have mutual $p$+1 vertices, and accordingly, by the definition of a simplicial complex, they also share faces of dimension $p$-1, $p$-2,… and 0. This is a property known as $q$-nearness, which means that two simplices $\sigma_p$ and $\sigma_r$ are $q$-near if they share $q$-face, for $q\leq r,p$. A sequence of $q$-near simplices forms a chain within a simplicial complex where two simplices are $q$-connected if any pair of sequential simplices in the chain are $q$-near. A $q$-connectivity class is chain of simplices with dimension $q$ or higher where dimension of a face of any two simplices in such chain is not lesser than $q$. A number of $q$-connectivity classes are stored in entries by the dimension of the $Q$-vector written starting from the largest dimension of a simplicial complex in descending order:

$$Q = \{Q_{\dim(K)}, Q_{\dim(K)-1}, \cdots Q_1, Q_0\}. \tag{1}$$

The *Q*-vector can be practical to compare two simplicial complexes dimension by dimension, but to compare complexity of the systems, its efficiency is lacking. Hence, scalar quantities will be introduced in order to do such a task. The commonly accepted quantity for comparing the complexity of simplicial complexes' structure is known as polyhedral complexity [4], or simplicial structure complexity $\psi$, and it is based on a *Q*-vector, defined as:

$$\Psi_Q = \frac{2}{(D+1)(D+2)} \sum_{q=0}^{D} (i+1) Q(q), \tag{2}$$

where *D* represents the dimension of a simplicial complex, and expression $\frac{2}{(D+1)(D+2)}$ is added to satisfy axioms characterizing the complexity of a system: (*1*) complexity is equal to 1 if there is only one simplex in the system, (*2*) the system has complexity greater than its subsystems, (*3*) system obtained by merging of two systems has greater complexity than the sum of complexity of components that build it.

To extract important aspects of a simplicial complex that describe the local role of simplices and their immediate surroundings, the following properties are introduced. A node's *Q*-vector [5], $Q^i$, describes the environment of the vertex *i* in a simplicial complex, and it is defined like:

$$Q^i = \{Q^i_{\dim(K)}, Q^i_{\dim(K)-1}, \cdots Q^i_1, Q^i_0\}, \tag{3}$$

where entries $Q^i_q$ counts the number of *q*-simplices that contains the node *i*. The topological dimension $\dim Q^i = \sum_q Q^i_q$ of vertex *i* [5] is calculated to quantify the total number of simplices which are built by the node *i*. The term dimension is taken from the conjugate complex $K^{-1}$, where simplices and vertices change roles, and the dimension of the vertex taking role as a simplex in the conjugate complex is equal to the topological dimension of a vertex in *K*.

Beside the above, two important properties calculated are known as eccentricity and vertex significance of simplex [3]. Let $\widehat{q}$ represents the dimension of *q*-simplex σ(*i*), and $\breve{q}$ the dimension of a face that attaches simplex σ(*i*) to other simplices, i.e. the dimension at which it is joined to connectivity class. Hence, eccentricity is defined as:

$$ecc(\sigma(i)) = \frac{\widehat{q} - \breve{q}}{\widehat{q} + 1}, \tag{4}$$

which takes values between 0 and 1. Eccentricity quantifies the degree of integration of a simplex in a simplicial complex, and low values means high integration of a simplex, whereas high values imply low integration of a simplex in simplicial complex. On the other hand, the vertex significance of simplex implies the significance of simplex with the respect to vertices that it contains. Let $\Delta(i) = \sum_{j \in i} \dim Q^j$ represents the sum of all $\dim Q^j$ for simplex σ(*i*) where *j* goes through all vertices in simplex σ(*i*), and max($\Delta$) be a maximal value of $\Delta$(*i*) in simplicial complex. So, vertex significance [6] of simplex is defined like:

$$vs(\sigma(i)) = \frac{\Delta(i)}{\max(\Delta)}, \tag{5}$$

which also takes values between 0 and 1 where the most significant simplex in simplicial complex has value *vs*=1.

Similarly to well-known graph theory clustering coefficient, simplicial complex property for simplex σ(*i*) is defined [7] as:

$$C(i)=\sum_{j\in nn}\frac{2^{1+f_{ij}}-1}{2^{q_i}+2^{q_j}-1}, \tag{6}$$

where „nn“ stands for the nearest neighbour, $f_{ij}$ is the dimension of shared face between simlices σ($i$) and σ($j$) and it is -1 if they don't share mutual face, and $q_i$ and $q_j$ are dimensions of simplices σ($i$) and σ($j$) respectively.

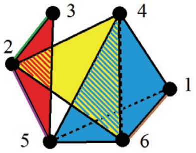
For the analysis of case study mentioned above, a simplicial complex that is used is known as the neighborhood complex [6]. In a mathematical graph, nonzero entries in the rows (or columns) are λ-related with its index elements, i.e. simplices, thus, constructing the incidence matrix of the neighborhood complex. Defined in this way, each element $i$ of the underlying mathematical graph is associated with its neighbourhood building the simplex σ($i$). In other words, to every node of the underlying mathematical graph is assigned a simplex as a set of its neighbors. Let's consider the example from Fig.1.(b). Rows becomes simplices of the simplicial complex as shown in Fig.2.(b). The colors of simplices in Fig.2.(c) match the colors of nodes from Fig.1.(c) with which they are associated. The area 1 is λ-related to areas 2 and 3, the area 2 is λ-related to areas 1, 4, 5 and 6, and so on. Thus, simplicial complex is constructed with simplices from σ(1) to σ(6) as shown in Fig.2.

$$\begin{pmatrix} 1 & \mathbf{0.78} & \mathbf{0.62} & 0.03 & 0.15 & 0.37 \\ \mathbf{0.78} & 1 & 0.12 & \mathbf{0.56} & \mathbf{0.81} & \mathbf{0.62} \\ \mathbf{0.62} & 0.12 & 1 & 0.21 & 0.17 & \mathbf{0.50} \\ 0.03 & \mathbf{0.56} & 0.21 & 1 & \mathbf{0.48} & 0.09 \\ 0.15 & \mathbf{0.81} & 0.17 & \mathbf{0.48} & 1 & \mathbf{0.58} \\ 0.37 & \mathbf{0.62} & \mathbf{0.50} & 0.09 & \mathbf{0.58} & 1 \end{pmatrix}$$

(a)

$$\begin{array}{c} \\ \sigma(1) \\ \sigma(2) \\ \sigma(3) \\ \sigma(4) \\ \sigma(5) \\ \sigma(6) \end{array} \begin{array}{c} \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

(b)



(c)

**Figure 2:** Example of neighborhood complex (c) and its incidence matrix (b) obtained from the correlation matrix (a) after applying the PMFG algorithm.

Topological dimension, and eccentricity, vertex significance of simplex and clustering coefficient can be considered as properties defined for the conjugate complex, and they actually describe vertices and their role in a local environment in a simplicial complex. To capture those most significant vertices that bind the simplicial complex, and accordingly the whole network together, we introduce an algorithm to extract the so called delegates [8] associated to selected vertices from the mathematical graph under the local criteria. Nevertheless, the definition of delegates in [8] considered only topological dimension of a nodes. In order to improve the approach, other three properties are included in the calculation of conjoint weight for every node in the simplicial complex:

$$w_i = sqrt((\dim Q^i)^2 + vs_{CC}(i)^2 + (1-ecc_{CC}(i))^2 + C_{CC}(i)^2), \tag{7}$$

where „CC“ is refers to for conjugate complex. After calculating all $w(i)$ in simplicial complex, delegates are selected for all simplices in the underlying simplicial complex. Delegates are connected by meta-link if underlying simplices they belonged to share at least one mutual face.

## 4. RESULTS AND DISCUSSION

The above methods are applied to neighborhood complex obtained from mathematical graph that represents linked areas of the State of Pernambuco in Brasil which is divided in three major regions: Zona da Mata (25 areas – in Fig.3. red dots), Agreste (41 areas – in Fig.3. green dots), and Sertao (115 areas – in Fig.3. blue dots) where areas are 25×25 km squares.

After obtaining the correlation matrices from times series for the period of one year, and three hours time steps, the PMFG algorithm is applied and incidence matrices of the neighborhood complex are constructed. Afterwards, the delegate algorithm was applied two times in constructing new simplicial complexes where vertices are identified as delegates from the previous simplicial complex. For the clarity of calculation outcomes, the results will be presented for the periods that are starting in the March and August for years 1998, 2007 and 2015. Main reason for choosing periods to show major points of the paper is because in the 1998 and 2007 El Niño was followed by La Niña and while in 2015 a severe drought corresponding to a strong El Niño occurred.

Considering local analysis and roles of individual parts of the network, Fig.3. displays delegates after first and second iteration of the algorithm. After applying the algorithm once, delegates (yellow and red grid cells) cover most of the underlying network. However, as shown above, they reveal better meta-linking amongst them than in the base network, resulting in lower complexity, thus, more convinient to analyze. After applying the algorithm second time, for this particular period, it can be noticed that second-degree delegates are dispersed on two sides of the state, far east and far west. This is because, during that year, a middle-high drought occurred in Pernambuco, so meta-linking the far east to the far west means drought was spread all over the state.

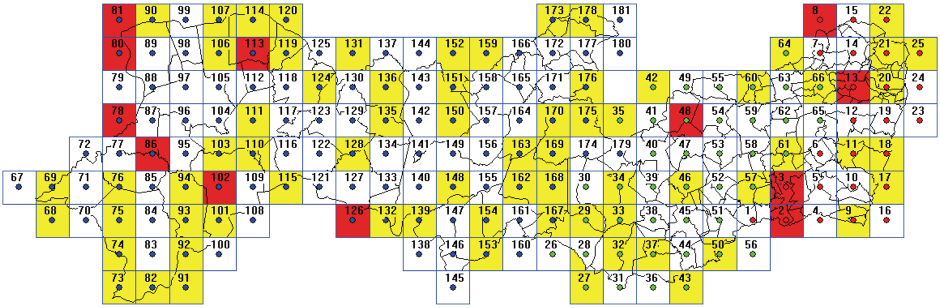


**Figure 3:** The State of Pernambuco in Brasil. Yellow and red squares represents delegates after the first iteration of algorithm, and red squares presents delegates after the second iteration of agorithm for the period March 1998 – March 1999.

**Table 1:** Complexity of simplicial complexes before and after delegate algorithm application.

| | Mar 1998 | Aug 1998 | Mar 2007 | Aug 2007 | Mar 2015 | Aug 2015 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\Psi$ | 20.42 | 27.43 | 27.32 | 32.47 | 18.51 | 25.96 |
| $\Psi_{\text{Delegates1}}$ | 5.71 | 5.98 | 6.01 | 4.07 | 3.34 | 5.63 |

The Table 1. shows that complexity is lower when analyzing the simplicial complexes of delegates. The first structure vectors of underlying simplicial complexes for all six periods are shown in Fig.4. by dashed lines suggest similar behavior in the organization of the nodes in the network. After the first iteration of the delegate algorithm (solid lines), obtained simplicial complexes result in higher dimensional simplicial complexes with denser inner meta-connection between simplices, thus, better meta-organization.

Main outcome of this method is a way of extraction of the most significant correlations that cannot be sighted by other commonly used methods. Also, it brings less computational time in order to get results about essential parts of the complex system and analysis of meta-network that connects them.

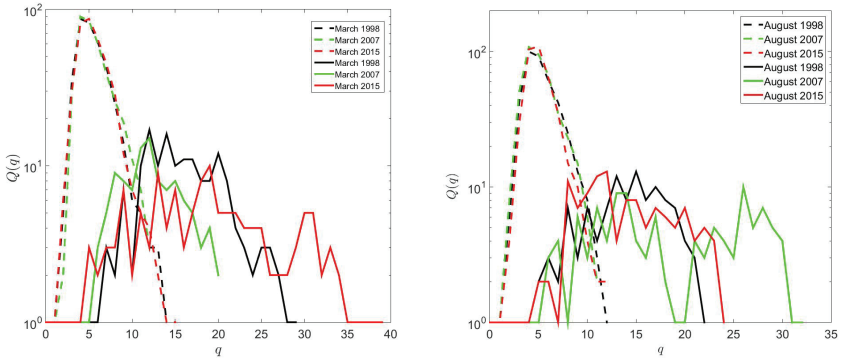


**Figure 4:** The first structure vectors for March (left) and August (right) in 1998, 2007 and 2015. Dashed lines represent underlying simplicial complexes, and solid lines simplicial complexes of delegates.

## ACKNOLEDGEMENT

This research was funded by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, with Contract Annex number 451-03-47/2023-01/ 200017. We also thank our dear colleagues Tatijana and Borko Stošić (Universidade Federal Rural de Pernambuco) for sharing the data with us.

## REFERENCES

[1] Atkin R. (1977). Combinatorial connectivities in social systems, Birkhäuser Verlag: Stuttgart.

[2] Tumminello M., Aste T., Matteo T. D., Mantegna R. N. (2005).. A tool for filtering information in complex systems. Proceedings of the National Academy of Sciences 102 (30), 10421–10426.

[3] Johnson J. (1981). Some structures and notation of q-analysis, Env. and Plan. B (8) 73.

[4] Casti J. (1979). Polyhedral dynamics and the controllability of dynamical systems, Journal of Mathematical Analysis and Applications 68, (334–346).

[5] Anđelković M., Tadić B., Maletić S., Rajković M. (2015). Hierarchical sequencing of online social graphs. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 436, 582-595.

[6] Zhao Y., S. Maletić (2021). Simplicial complexes in complex systems: In search for alternatives. World Scientific Publishing Co.

[7] Horak D., Maletić S., Rajković M. (2009). Persistent homology of complex networks. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiments (03), P03034.

[8] Anđelković M., Maletić S., Tomanović I. (2022). Identifiers for structural warnings of malfunction in power grid networks. Thermal Science 26 (6B), 5043-5051.

# ЕКОЛОШКИ МЕНАЏМЕНТ И УПРАВЉАЊЕ ПРИРОДНИМ РЕСУРСИМА

# ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND NATURAL RESOURCES MANAGEMENT

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND NATURAL RESOURCES MANAGEMENT: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES TO MITIGATE POLLUTION AND EFFECTIVE MANAGEMENT IN NIGERIA

ELEANYA AGBAI IGBOKO[1], ODIASE TEMITOPE JUDITH[2]

[1] Environmental Sciences Department, Osun State University Nigeria, lagoon4lagos@gmail.com
[2] Environmental Sciences Department, Osun State University Nigeria, strikeone01@yahoo.com

---

***Abstract:*** *Pollution poses a pressing global challenge with significant implications for environmental, social, and economic well-being. As Africa's most populous country and a major oil producer, Nigeria faces numerous pollution-related challenges. This paper explores the obstacles to mitigating pollution and implementing effective management strategies in Nigeria. The research analyzes key factors, including industrial activities, waste management, air pollution, and water contamination, providing insights into the current state of pollution in the country. Furthermore, potential solutions and opportunities for sustainable development are discussed, emphasizing the necessity of collaborative efforts among government, industries, communities, and individuals.*

***Keywords:*** *Air Pollution, Effective Management, Industrial Pollution, LAWMA, Pollution Mitigation, Waste Management, Water Contamination.*

---

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРОЦЕНА РИЗИКА У ПРОЈЕКТНОМ ФИНАНСИРАЊУ ОБНОВЉИВИХ ИЗВОРА ЕНЕРГИЈЕ

# RISK ASSESSMENT IN PROJECT FINANCING OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES

ЖЕЉКО СПАСЕНИЋ, ДРАГАНА МАКАЈИЋ-НИКОЛИЋ [2]

[1] Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, Београд, zeljko.spasenic@fon.bg.ac.rs
[2] Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, Београд, dragana.makajic-nikolic@fon.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Финасирањем пројеката за експлоатацију обновљивих извора енергије банке се излажу различитим ризицима укључујући и репутациони ризик. Коришћењем матрице ризика добијени су резултати који показују да се најзначајнији ризици односе на ризичне догађаје повезане са угрожавањем животне средине.*

***Кључне речи:*** *Пројектно финансирање, Репутациони ризик, Матрица ризика, Обновљиви извори енергије*

***Abstract:*** *Financing renewable energy resources banks are exposed to various risks, including reputational risk. By using the risk matrix, the results of this research show that the most significant risks are related to risk events associated with risks that are potentially detrimental to the environment.*

***Keywords:*** *Project financing, Reputational risk, Risk matrix, Renewable energy resources*

---

## 1. УВОД

За остварење глобалних циљева енергетске ефикасности и повећања удела обновљивих извора енергије (ОИЕ) у производњи електричне енергије, потребне су значајне инвестиције [1, 4, 9]. Qadir и сарадници [7] у свом истраживању потврђују да је доступност одговарајућих извора финансирања кључна за успешну енергетску транзицију. Европска Унија је 2020. године препознала важност финансирања пројеката за експлоатацију ОИЕ и подржала је Европски зелени договор (*енгл. European green deal*), као нову иницијативу у овој области, кроз инвестициони план који има за циљ финансирање инвестиција у укупној вредности од 1 билион евра током десетогодишњег периода [9].

У 2020. години, инвестиције у нове капацитете за коришћење ОИЕ износиле су 304 милијарде УСД [8]. На глобалном нивоу, највећи инвеститори су Кина, Сједињене Америчке Државе и развијене европске земље, које су обухватиле око 71% укупних инвестиција у ОИЕ. У истој години, 49% укупних инвестиција усмерено је ка соларној енергији, која је једини облик обновљиве енергије чије су инвестиције порасле у односу на 2019. годину. Разлози за смањење инвестиција у друге облике обновљиве енергије зависе од конкретне технологије која се посматра. Главне препреке за изградњу малих хидроелектрана су недостатак јасних националних прописа који би подстакли њихов развој, као и високи ризици инвестирања који варирају у зависности од фазе пројекта [8, 10]. Такође, интензивнија употреба геотермалне енергије ограничена је високим ризицима и трошковима у раним фазама пројекта. Инвестиције у друге облике обновљиве енергије, попут биогорива и енергије таласа, такође су ограничене ризицима технологије која се још увек налази у раној фази развоја.

Прелазак са фосилних горива на ОИЕ представља велики изазов за Западни Балкан. Једина земља која је готово у потпуности производи електричну енергију из ОИЕ је Албанија. Регион Западног Балкана има велики неискоришћени хидропотенцијал који може допринети успешној енергетској транзицији [3, 6]. Расположив хидропотенцијал има изузетан значај за регион, посебно јер је трошак производње електричне енергије из хидроелектрана нижи у поређењу са другим обновљивим изворима енергије.

Република Србија има низ мера за промовисање и подршку производњи електричне енергије из ОИЕ. Да би подстакла инвестиције, субвенционисала је производњу електричне енергије из ОИ путем модела фиксне откупне цене (engl. *feed-in tariff*) са гарантованим периодом откупа од 12 година. Према овом моделу, привилеговани произвођачи електричне енергије из ОИЕ имају право на фиксну откупну цену по киловат-сату произведене енергије у периоду подстицаја. Приоритетни статус привилегованог произвођача из ОИЕ обавезује Електропривреду Србије да откупи сву електричну енергију произведену у систему подстицаја. Законом о коришћењу обновљивих извора енергије из 2021. године [13], модел подстицаја заснован на фиксној откупној цени је замењен моделом тржишне премије која се одређује путем аукција.

У земљама Западног Балкана активно се реализују пројекти изградње малих хидроелектрана које ће подржати процес енергетске транзиције. Према истраживању Huđek и сарадника (2020) планира се изградња 1.315 МХЕ на притокама дунава у Словенији, Хрватској, Босни и Херцеговини, Србији и Црној Гори. У наведеним плановима највеће учешће имају пројекти МХЕ до 1 MW инсталисане снаге.

На крају 2021. године у Републици Србији најбројнији су пројекти експлоатације хидро енергије (134), соларне енергије (106) и енергије из биогаса (34) док је лидер у области финансирања ОИЕ Erste банка а прати је UniCredit банка [11, 12]. Остале банке спорадично јављају као кредитори.

Полазећи од значаја малих хидроелектрана за коришћење ОИЕ као и активности банка у финансирању ове врсте пројеката, циљ истраживања јесте анализа потенцијално негативног утицаја пројектног финансирања ОИЕ на репутацију банке коришћењем матрице ризика. Рад представља наставак претходних истраживања аутора у области анализе ризика којима је банка изложена а који су повезани са пројектним финансирањем ОИЕ [11, 12]. У овом раду су коришћени, уз модификацију, делови докторске дисертације аутора који нису раније публиковани у научним часописима нити на научним конференцијама [10].

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА

Полазећи од резултата претходно спроведеног истраживања [11] у овом раду је анализирано десет најзначајнијих ризика који могу изазвати дифолт (енгл. *default*) дужника по кредиту за пројектно финансирање изградње мале хидроелектране. Ризици су анализирани коришћењем матрице ризика. У истраживању су учествовала 3 експерта који су, коришћењем Ликертове скале од 1 до 5, оценили вероватноћу настанка ризика (1 – ризик се јавља веома ретко; 5 – висока вероватноћа јављања ризика) и утицај на репутацију банке (1 – нема негативан утицај на репутацију банке; 5 – изузетно негативан утицај на репутацију банке). Експерти имају вишегодишње искуство рада у банкама које су најактивније у области пројектног финансирања обновљивих извора енергије. Ризици који су предмет анализе су детаљније описани у табели 1.

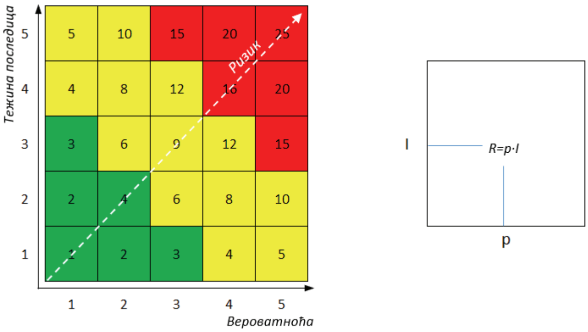
**Табела 1:** Ризични догађаји

| Догађај | Опис |
|---|---|
| РД1 | Упознај свог клијента процедура банке није идентификовала препреке за сарадњу са инвеститором. Негативна пословна репутација спонзора пројекта постоји у тренутку одобрења кредита али није идентификована. |
| РД2 | Лични / пословни разлози инвеститора доводе до његове одлуке да се пројекат обустави након што је банка пласирала одређени износ средстава. Одлука инвеститора да прекине реализацију пројекта није резултат негативне пословне репутације нити преварних (незаконитих) радњи већ је последица личне одлуке. |

| Догађај | Опис |
|---|---|
| РД3 | Буџет пројекта је намерно потцењен од стране инвеститора у циљу смањења учешћа капитала у инвестицији. Инвеститор, уз сарадњу са пројектантом, је потценио пројекат уз очекивање да ће банка одобрити додатна средства у циљу завршетка пројекта чије финансирање је започето. |
| РД4 | Непредвиђени инвестициони трошкови у фази извођења земљаних радова и/или изградње водозахвата. Висина ових трошкова угрожава одрживост пројекта пошто се потенцијал производње струје не мења. |
| РД5 | Протести јавности против МХЕ пројеката у фази његове реализације. Притисак јавности има за последицу заустављање изградње МХЕ. |
| РД6 | Неадекватно процењена хидрологија има за последицу недовољну производњу електричне енергије. У овом случају, ради се о просечном водном потенцијалу који је значајно испод очекиваног. Последично, потенцијал генерисања готовине је испод иницијално планираног. |
| РД7 | Сезонске осцилације у хидрологији су значајно изнад очекиваних. |
| РД8 | Протести јавности против МХЕ пројеката. Притисак јавности има за последицу обуставу производње струје из МХЕ која је у фази експлоатације и њено уклањање (рушење). |
| РД9 | Водоток се експлооатише на начин који угрожава природни ток реке и његов биодиверзитет (нпр. акумулација воде у водозахвату је већа од пројектоване и сл.). Последица је негативан утицај на животну средину и забрану рада МХЕ. |
| РД10 | Природни ризици. |

Матрица ризика (енгл. *risk matrix*) је једноставна и често коришћена метода за анализу ризика која комбинује елементе квалитативне и квантитативне анализе. Анализа ризика коришћењем матрице ризика захтева (1) идентификовање ризичних догађаја, (2) процену вероватноће ризичних догађаја и (3) процену озбиљности последица ризичних догађаја [5]. Ризични догађаји се позиционирају у матрици на основу ризика (енгл. *risk* - *R*) који се добија као производ вероватноће ризичног догађаја (енгл. *probability* - *p*) и тежине последица (енгл. *impact* - *I*).

Стандардна матрица ризика је димензија 5x5 где се вероватноћа настанка и озбиљност последица мере на скали од 1 до 5 док ризик, као њихов производ (*p*), узима вредност у интервалу од 1 до 25 [5]. Скале за оцену вероватноће настанка и тежине последица се могу дефинисати на различите начине. На пример, ако је *p=1*, вероватноћа ризика је занемарљива док *p*=5 имплицира скоро неизбежан ризичан догађај. Слично, *I*=1 означава ризични догађај чије су последице занемарљиве док *I*=5 означава ризични догађај са потенцијално критичним последицама. Дефинисана на овај начин, матрица ризика се састоји од 25 поља подељених у 3 површински неједнаке зоне. Зелена зона обухвата догађаје ниског ризика (ризик се може толерисати) док се жута (потребна је додатна процена да ли се ризик може толерисати) и црвена зона (ризик се не може толерисати) односе на догађаје са средњим и високим ризиком респективно [10]. Сваки ризични догађај се позиционира у одговарајућем пољу матрице ризика на основу израчунате вредности за *R*. Матрица ризика је приказана на слици 1.



**Слика 1:** Позиционирање догађаја у матрици ризика [10]

Основна предност матрице ризика је једноставна примена која омогућава груписање ризичних догађаја и усмеравање корективних акција за редукцију ризика на ризичне догађаје у зависности од њихове позиције у матрици.

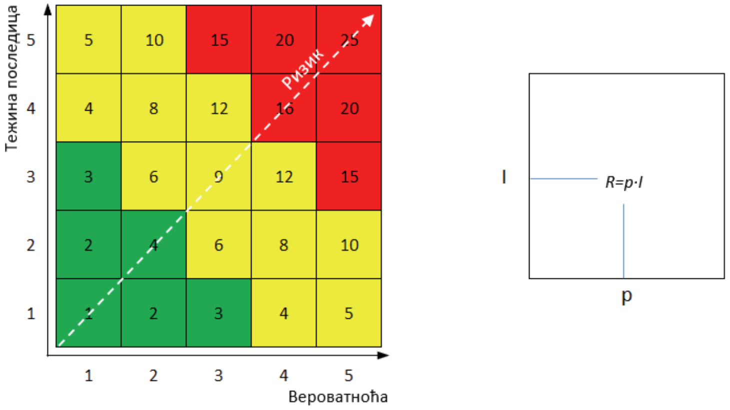
## 3. ИСТРАЖИВАЊЕ И РЕЗУЛТАТИ

Просечне оцене експерата за вероватноћу ризичног догађаја (*p*) и очекивани утицај на репутацију банке (*I*) израчунате су коришћењем просте аритметичке средине на основу појединачних оцена експерата који су учествовала у истраживању. Ризик (*R*) је добијен као производ просечних оцена. Резултати су представљени у табели 2.

**Табела 1:** Оцене ризичних догађаја

| Догађај | *p* | *I* | *R=pxI* |
|---|---|---|---|
| РД1 | 1,33 | 4,00 | 5,33 |
| РД2 | 1,00 | 3,67 | 3,67 |
| РД3 | 2,67 | 3,33 | 8,89 |
| РД4 | 3,33 | 3,33 | 11,11 |
| РД5 | 4,00 | 5,00 | 20,00 |
| РД6 | 3,33 | 2,00 | 6,67 |
| РД7 | 3,33 | 2,00 | 6,67 |
| РД8 | 3,33 | 5,00 | 16,67 |
| РД9 | 3,33 | 4,67 | 15,56 |
| РД10 | 1,67 | 2,00 | 3,33 |

На основу добијених нумеричких резултата догађаји су представљени у матрици ризика. На основу слике 2 може се закључити да најнеповољнију комбинацију вероватноће настанка и негативног утицаја на репутацију банке имају догађаји који се односе на протесте јавности у фази изградње (Д5), протесте јавности у фази експлоатације (Д8), неадекватно експлоатацију водотока у току сушних месеци (Д9) и настанак непредвиђених трошкова у фази извођења земљаних радова (Д4).



**Слика 2:** Матрица ризика

Резултати истраживања нису изненађујући. Ризични догађаји број 5, 8 и 9, који се налазе у црвеној зони матрице ризика, директно указују на негативан утицај пројекта на животну средину. Финансирањем оваквих пројеката банка се излаже високом репутационом ризику због негативне перцепције јавности о пословним активностима банке, њеној друштвеној одговорности и односу према заштити животне средине. Догађај број 4 се такође може довести у везу са нарушавањем животне средине и микролокације на којој се гради електрана кроз потребу да се изведе већи обим грађевинских радова од планираних.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Резултати истраживања показују да највећи негативан утицај на репутацију банке могу имати ризици повезани са нарушавањем животне средине које је последица изградње мале хидроелектране. Да би се наведени ризици ублажили неопходно је (*i*) адекватно проценити ризике у фази анализе кредитног ризика од стране банке, (*ii*) финансирати само оне пројекте који су потпуно у сагласности са законским прописима у области заштите животне средине и (*iii*) промовисати успешне пројекте који су допринели заштити и очувању животне средине.

Истраживање има и одређене недостатке који се могу превазићи у будућим истраживањима. Прво, груписање ризичних догађаја у три зоне не даје довољно детаљну анализу ризика и адекватне препоруке за приоритизацију корективних акција. Друго, ризици су анализирани искључиво кроз две димензије (вероватноћа настанка и тежина последица) док је могућност детекције репутационог ризика остала изван анализе. Треће, ризици су посматрани изоловано независно од осталих идентификованих ризика и интеракције која постоји између њих. Наведени недостаци се могу превазићи комбиновањем матрице ризика и других техника операционог менаџмента за анализу ризика као што су анализа начина и ефеката отказа (engl. *Failure Mode and Effects Analysis*), анализа стабла неисправности (енгл. *Fault Tree Analysis*) и анализа стабла догађаја (енгл. *Event Tree Analysis*).

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Barroco, J., & Herrera, M. (2019). Clearing barriers to project finance for renewable energy in developing countries: A Philippines case study. Energy Policy, 135, 111008. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111008

[2] Huđek, H., Žganec, K., & Pusch, M. T. (2020). A review of hydropower dams in Southeast Europe – distribution, trends and availability of monitoring data using the example of a multinational Danube catchment subarea. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 117, 109434. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109434

[3] Knez, S., Štrbac, S., & Podbregar, I. (2022). Climate change in the Western Balkans and EU Green Deal: status, mitigation and challenges. Energy, Sustainability and Society, 12(1). https://doi.org/10.1186/s13705-021-00328-y

[4] McCollum, D. L., Zhou, W., Bertram, C., de Boer, H.-S., Bosetti, V., Busch, S., Després, J., Drouet, L., Emmerling, J., Fay, M., Fricko, O., Fujimori, S., Gidden, M., Harmsen, M., Huppmann, D., Iyer, G., Krey, V., Kriegler, E., Nicolas, C., … Riahi, K. (2018). Energy investment needs for fulfilling the Paris Agreement and achieving the Sustainable Development Goals. Nature Energy, 3(7), 589–599. https://doi.org/10.1038/s41560-018-0179-z

[5] Ni, H., Chen, A., & Chen, N. (2010). Some extensions on risk matrix approach. Safety Science, 48(10), 1269–1278. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.04.005

[6] Pavlakovič, B., Okanovic, A., Vasić, B., Jesic, J., & Šprajc, P. (2022). Small hydropower plants in Western Balkan countries: status, controversies and a proposed model for decision making. Energy, Sustainability and Society, 12(1). https://doi.org/10.1186/s13705-022-00335-7

[7] Qadir, S. A., Al-Motairi, H., Tahir, F., & Al-Fagih, L. (2021). Incentives and strategies for financing the renewable energy transition: A review. Energy Reports, 7, 3590–3606. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.06.041

[8] REN21. (2021). Renewables 2021 Global Status Report. REN21 Secretariat, Paris, France. Dostupno na: https://www.ren21.net/reports/global-status-report/

[9] Sikora, A. (2020). European Green Deal – legal and financial challenges of the climate change. ERA Forum, 21(4), 681–697. https://doi.org/10.1007/s12027-020-00637-3

[10] Spasenic, Z. (2023). Metodologija za analizu kreditnog rizika projektnog finansiranja obnovljivih izvora energije. Doktorska disertacija. Fakulet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu.

[11] Spasenic, Z., Makajic-Nikolic, D., & Benkovic, S. (2022). Integrated FTA-risk matrix model for risk analysis of a mini hydropower plant's project finance. Energy For Sustainable Development, 70, 511-523. doi: 10.1016/j.esd.2022.08.024 (M22)

[12] Spasenic, Z., Makajic-Nikolic, D., & Benkovic, S. (2022). Risk assessment of financing renewable energy projects: A case study of financing a small hydropower plant project in Serbia. Energy Reports, 8, 8437–8450. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.06.065

[13] Zakon. (2021). Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije. Službeni glasnik RS, broj 40 od 22. aprila 2021. Dostupno na: https://www.pravno-informacionisistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2021/40/2/reg

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# БИБЛИОМЕТРИЈСКА АНАЛИЗА ЛИТЕРАТУРЕ О ПОПЛАВАМА, ЕКОЛОШКИМ РИЗИЦИМА И МОДЕЛИМА

# BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF LITERATURE ON FLOODS, ENVIRONMENTAL RISKS, AND MODELS

ЈЕЛЕНА АНДРЕЈА РАДАКОВИЋ [1], ДРАГАНА МАКАЈИЋ-НИКОЛИЋ [2], НАТАША ПЕТРОВИЋ [3]

Универзитет у Београду – Факултет организационих наука, Београд,
[1] jelenaandreja.radakovic@fon.bg.ac.rs, [2]dragana.makajic-nikolic@fon.bg.ac.rs, [3]natasa.petrovic@fon.bg.ac.rs

---

**Резиме:** *Повећана учесталост и озбиљност поплава, заједно са повезаним последичним еколошким ризицима, представља значајну проблематику цивилизације са дугорочним еколошким, друштвеним и економским последицама. С друге стране, за разумевање и побољшање постојећег научног знања, а потом и његову примену у пракси неопходна је идентификација кључних истраживачких области за даља научна истраживања. За ово, као једна од одличних анализа, може да се користи библиометријска анализа литературе. У раду су аутори приказали библиометријску анализу литературе о поплавама, еколошким ризицима и моделима, са циљем пружања прегледа тренутног теоријског и научног стања знања у овој области. Ово је урађено на основу дескриптивног квалитативног истраживања докумената из Web of Science – WoS базе. На овај начин омогућава се шире разумевање литературе, идентификују се трендови и истакнуте истраживачке теме, али и указује на недостајућа знања у анализираним областима уз пружање смерница за будуће истраживачке напоре. Такође, оваква анализа литературе има потенцијал да подржи адекватно информисано доношење одлука у управљању поплавама и смањењу еколошких ризика.*

***Кључне речи:*** *Библиометријска анализа, VOSviewer, поплаве, еколошки ризици, модели.*

***Abstract:*** *The increased frequency and severity of floods, together with the associated consequent ecological risks, represent a significant problem for the civilization with long-term ecological, social and economic consequences. On the other hand, in order to understand and improve the existing scientific knowledge, and then to apply it in practice, it is necessary to identify key research areas for further scientific research. For this, a bibliometric literature analysis can be used as one of excellent analyses. In the paper, the authors presented a bibliometric analysis of the literature on floods, ecological risks and models, with the aim of providing an overview of the current theoretical and scientific state of knowledge in this area. This was done on the basis of a descriptive qualitative research of documents from the Web of Science - WoS database. In this way, a broader understanding of the literature is presented, trends and prominent research topics are identified, but it also points to missing knowledge in the analyzed areas while providing guidelines for future research efforts. Also, this kind of literature analysis has the potential to support adequately informed decision-making in flood management and environmental risk reduction.*

***Keywords:*** *Bibliometric analysis, VOSviewer, floods, environmental risks, models.*

---

## 1. УВОД

Поплаве спадају у најразорније природне појаве које се манифестују као високи водостаји у рекама и језерима, због којих се вода излива преко обала. Оне могу да настану као резултат превеликих падавина, доласка океанских таласа, брзог топљења снега, квара брана или насипа. Представљају најчешће и најраспрострањеније природне катастрофе повезане са временом.

Током протеклих неколико деценија десиле су се бројне деструктивне поплаве у различитим регионима света. Њихова појава и штета коју проузрокују, што кроз уништење животне средине, економске губитке, али и губитке људских живота, се не смањује упркос значајним улагањима у мере заштите од поплава. Додатно, повећана учесталост екстремних метеоролошких појава које могу да доведу до поплава, представља потенцијалну последицу климатских промена. Такође, ове природне катастрофе представљају најчешћи и најскупљи природни хазард на свету. Канцеларија Уједињених нација за смањење ризика од катастрофа (*United Nations Office for Disaster Risk Reduction* - UNDRR) известила је да је између 1998. и 2017. године више од две милијарде људи било погођено поплавама, што представља 45 процената од оних који су погођени другим временским катастрофама као што су суша и тајфуни [9].

Према Центру за истраживање епидемиологије катастрофа (*Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* - CRED) све природне катастрофе забележиле су пораст фреквенције појављивања у 2022. години, када се упореде са просеком мереним 2002-2021, док су поплаве у овоме учествовале са 45,6 процената догађаја наневши штету од 44,9 милијарде долара економских губитака [4].

Када је у питању ризик од поплава, он може да се дефинише као очекивани губици који настају услед специфичне поплавне катастрофе за дато подручје и временски период [1]. Ризик од поплава се састоји од опасности од поплава (интензитет и/или учесталост), изложености поплавама и рањивости система [14]. Са друге стране, праћење овог ризика може помоћи у планирању коришћења земљишта и доношењу одлука о управљању поплавним подручјем [8]. У ограниченом смислу, управљање ризиком од поплава је процес управљања насталом ситуацијом услед ризика. У ширем смислу, ово управљање обухвата планирање система за смањење ризика од поплава, економских губитака, те изградњу отпорних друштава.

Перцепција ризика од поплава и потреба за одбраном од поплава, су већ дуго признате као важне компоненте отпорности заједница у случају ове природне катастрофе, заједно са потребом за успостављањем и развојем модела за праћење, предвиђање и превазилажење еколошких и осталих ризика које поплаве проузрокују. И поред тога, у досадашњој научној литератури постоји евидентан недостатак довољног броја публикација које се баве овом важном проблематиком и поред побољшаних и проширених извештаја о несрећама, повећању изложености популације последицама катастрофа и њиховој високој фреквенцији појављивања и/или њиховом интензитету [11]. Из ових разлога аутори рада су одлучили да ураде истраживање које се бави библиометријском анализом литературе о поплавама, еколошким ризицима и моделима.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА

За потребе истраживања спроведено је квалитативно истраживање докумената *Web of Science – WoS* базе. Истраживање је спроведено на основу анализе библиометријских индикатора. Изабрана је библиометријска анализа као широко коришћена метода која је веома погодна у случајевима истраживања великог броја научних података [7, 13, 18]. „Популарност“ библиометријске анализе заснована је на: развоју и доступности библиометријских софтвера – *Gephi*, *Leximancer, VOSviewer*, као и научних база података као што су нпр. *Scopus* и *WoS*, као и међудисциплинарној примени библиометријске анализе [7].

За јединицу анализе коришћена је реч за анализу ко-речи да би се том техником истражили актуелни садржаји публикација. Ова анализа користи се за претраживање наслова чланака, апстраката, кључних речи или чак целих текстова радова [2, 3, 6, 7, 10, 12, 13], а претпоставља да речи које се појављују заједно/су често заједно, имају и тематски однос једна са другом.

У раду је библиометријска анализа спроведена коришћењем технике визуелизације путем употребе софтвера *VOSviewer* који користи графички кориснички интерфејс [16], а анализирани су наслови, апстракти и кључне речи у публикацијама.

## 3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Библиометријска анализа је спроведена над *WoS* базом коју одликује садржај висококвалитетних података и широк обим заступљених научних области. Ова база има приступ до више од 34.506 часописа, књига, зборника радова, патената и података [5, 13].

У раду је коришћено научно мапирање које је омогућило истраживање и испитивање веза између истраживаних делова. Употребљена је техника ко-речи. У претраживани узорак су стављене кључне речи реч “*flood*” (поплава), AND повезана кључна реч - “*environmental risk*” (еколошки ризик) и на крају AND “*model*” (модел) [17]. Добијено је 94 резултата, са приметним бројем раста публикација током година, посебно од 2019. године (График 1).

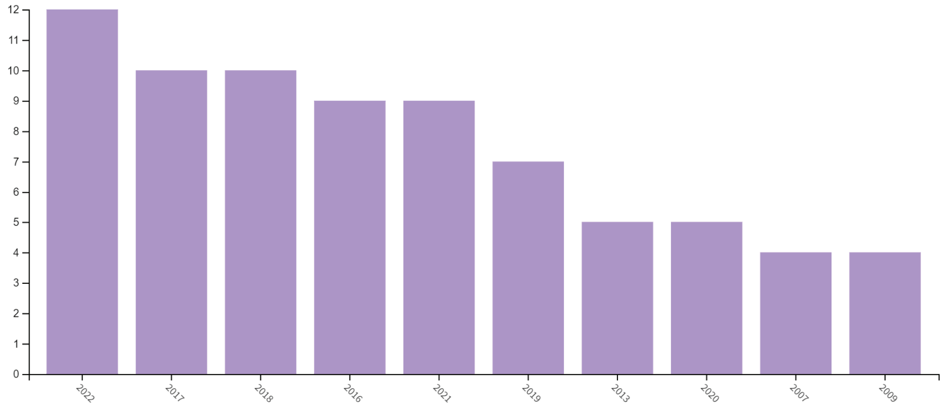


**График 1:** Радови у којима се појављују кључне речи “*flood*” AND “*environmental risk*” AND “*model*” публиковани од 2009. – 2022. године

Извор: Елаборирано од стране аутора

Анализа је дала 94 рада, од којих: 72 су чланци у часописима, 17 су радови на конференцијама, четири рада су рецензије, један рад је поглавље у књизи, један је материјал едитора, један рад има рани приступ, а један је нови рад. Као што се може видети из фреквенције врсте радова, највећи број радова представљају чланци у часописима – чак 76,596 процената.

Као и што број радова расте у последњем периоду, тако расте и њихова цитираност што говори у прилог већем броју публикација које се баве истраживаном темом (График 2).

Ако се анализирају земље/региони из којих су аутори публикација о поплавама, еколошким ризицима и моделима, добијају се следећи резултати приказани у Табели 1 (за земље/регионе са пет и више појављивања публикација).

Посматрајући добијене податке дате у Табели 1, јасно се може закључити да највише публикација долази из земаља које су и највише подложне и погођене поплавама као што се јасно види по Народној Републици Кини која у укупном броју публикација учествује са 21,277 процената радова што је и логично имајући у виду да спада у земље са највећим бројем популације која је изложена ризику од поплава – 394 милиона, док на другом месту спада Индија са 389 милиона, али и ниједним публикованим радом у области истраживања овога рада [15].

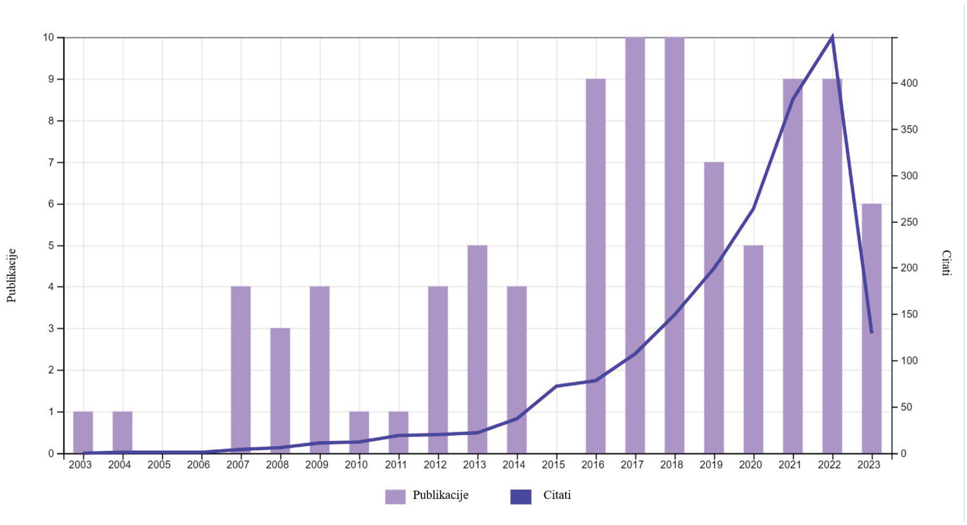


**График 2:** Публикације и њихови цитати у којима се појављују кључне речи "*flood*" AND "*environmental risk*" AND "*model*" публиковани од 2003. – 2023. године

Извор: Елаборирано од стране аутора

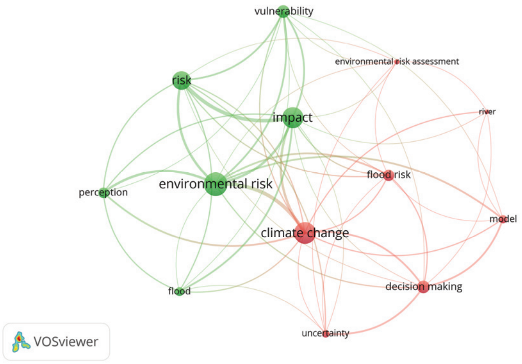
**Табела 1:** Земље/региони из којих су аутори публикација

| Земља/регион | Број појављивања публикација | Проценат од 94 публикације [%] |
|---|---|---|
| Народна Република Кина | 20 | 21,277 |
| Уједињено Краљевство | 16 | 17,021 |
| Сједињене Америчке Државе | 14 | 14,894 |
| Италија | 10 | 10,63 |
| Немачка | 8 | 8,511 |
| Аустралија | 7 | 7,447 |
| Француска | 6 | 6,383 |
| Холандија | 5 | 5,319 |

Извор: Елаборирано од стране аутора

Потом је урађена библиометријска анализа садржаја ради идентификовања главних тематских категорија које се појављују у области поплава, еколошких ризика и модела. Публикације су импортоване у *VOSviewer* софтверски алат ради конструисања и визуелизације библиометријске мреже у анализи кластера. Од укупно 94 истражена документа из *WoS* базе, путем коришћења *VOSviewer*-а, идентификацијом је добијено укупно 13 кључних речи које су анализиране кластеравањем, док је мапирање њиховог заједничког појављивања у публикацијама у истраживаним кључним речима "*flood*" AND "*environmental risk*" AND "*model*" приказано на Слици 1.

Чворови на слици представљају кључне речи. Њихова величина је индикатор фреквенције појављивања одређених кључних речи у публикацијама које су анализиране. Чворови су повезани линијама које представљају индикаторе заједничког појављивања кључних речи у публикацијама, а дебљина линије указује на број заједничких појављивања. Анализа је као резултат дала два кластера, тј. две различите теме – зелени и црвени.



**Слика 1:** Конструисани кластери кључних речи “*flood*” AND “environmental risk” AND “*model*”
Извор: Елаборирано од стране аутора
*Анализа је спроведена 29.04.2023. године

Црвени кластер (Кластер 2) је највећи јер садржи седам кључних речи, иако оне имају мању фреквенцију појављивања од кључних речи у зеленом кластеру (Кластер 1). Састоји се од следећих кључних речи: *climate change* (климатске промене), *decision making* (доношење одлука), *flood risk* (ризик од поплава), *model* (модел), *uncertainty* (несигурност), *environmnetal risk assessment* (оцена еколошког ризика), *river* (река). Кључна реч са највећом фреквенцијом је климатске промене на коју је овај кластер усмерен. Кластер 2 се од ове кључне речи шири у Кластер 1. Такође, све кључне речи из овог кластера шире се у Кластер 1.

Зелени кластер (Кластер 1) је следећи по величини јер садржи шест кључних речи: *environmental risk* (еколошки ризик), *impact* (утицај), *risk* (ризик), *vulnerability* (рањивост), *perception* (перцепција), *flood* (поплава). Кључна реч са највећом фреквенцијом у овом кластеру, а и генерално посматрано, је еколошки ризик. Од ње се Кластер 1 шири у Кластер 2. Све кључне речи се шире у Кластер 1.

Оно што је занимљиво је да се од истраживаних кључних речи “*flood*” AND “*environmental risk*” AND “*model*” добија да су поплаве повезане са Кластером 2 коме припадају, а да са другим кластером су само повезане са климатским променама и несигурношћу. Такође, анализа је показала недовољно публикација које се баве моделима и моделовањем у области поплава, јер ове две кључне речи нису директно повезане (индиректно су повезане преко кључних речи еколошки ризик и климатске промене).

## 4. ЗАКЉУЧАК

Упркос чињеници да расте број природних катастрофа, као и број радова објављених на ову тему, и даље је евидентан недостатак довољног броја радова. Такође, забрињавајућа је чињеница да је приметан и недостатак публикација о моделовању из ове „горуће“ и кризне области. На жалост целог човечанства, у не тако далекој будућности моћи ће да се примети много већа фреквенција научно-истраживачких радова о природним катастрофама и њиховим последичним еколошким ризицима, док ће истовремено све већи проценат човечанства спадати у угрожену популацију – биће то нова стварност недвојбиво изазвана глобалним загревањем и климатским променама.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Alfieri, L., Bisselink, B., Dottori, F., Naumann, G., de Roo, A., Salamon, P., Wyser, K., & Feyen, L. (2017). Global projections of river flood risk in a warmer world. *Earth’s Future*, *5*, 171-182.

[2] Baker, H. K., Kumar, S., & Pattnaik, D. (2021). Twenty-five years of the journal of corporate finance: a scientometric analysis. *Journal of Corporate Finance, 66*, 101572. https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2020.101572

[3] Burton, B., Kumar, S., & Pandey, N. (2020). Twenty-five years of The European Journal of Finance (EJF): a retrospective analysis. *The European Journal of Finance, 26*(18), 1817-1841. https://doi.org/10.1080/1351847X.2020.1754873

[4] Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED. (2023). *2022 Disasters in number*. Доступно на: https://www.cred.be/publications.

[5] Clarivate. (2023). *Resources for Librarians*. Доступно на: https://clarivate.libguides.com/librarianresources/coverage.

[6] Donthu, N., Gremler, D. D., Kumar, S., & Pattnaik, D. (2020). Mapping of Journal of Service Research themes: A 22-year review. *Journal of Service Research, 25*(2), 187-193.

[7] Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *133*, 285-296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070

[8] Dottori, F., Salamon, P., Bianchi, A., Alfieri, L., Hirpa, F.A., & Feyen, L. (2016). Development and evaluation of a framework for global flood hazard mapping. *Advaanced Water Resources, 94*, 87-102.

[9] *Economic Losses, Powerty & Disasters 1998-2017*. Доступно на: https://www.preventionweb.net/files/61119_credeconomiclosses.pdf.

[10] Emich, K. J., Kumar, S., Lu, L., Norder, K., & Pandey, N. (2020). Mapping 50 years of small group research through small group research. *Small Group Research, 51*(6), 659-699. https://doi.org/10.1177%2F1046496420934541

[11] Kundzewicz, Z. W. (Ed.). (2012). *Changes in flood risk in Europe*. Wallingford.

[12] Liu, Y., Mai, F., & MacDonald, C. (2019). A big-data approach to understanding the thematic landscape of the field of business ethics, 1982-2016. *Journal of Business Ethics, 160*(1), 127-150. https://doi.org/10.1007/s10551-018-3806-5

[13] Petrović, N., Jeremić, V., & Ćirović, M. (2023). Uloga ekonomije deljenja u ostvarivanju ciljeva održivog razvoja. U B. Stošić, S., Lazarević i M. Kostić Stanković (Eds.) *Održivo upravljanje poslovanjem: inovacije, softver i komunikacije*. Beograd.

[14] Reisinger, A., Howden, M., & Vera, C. (2020). *The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report: A Summary of Cross Working Group Discussions*. Доступно на: https://www.ipcc.ch/event/guidance-note-concept-of-risk-in-the-6ar-cross-wg-discussions/.

[15] Visual Capitalist (2023). *Mapped: Countries With the Highest Flood Risk*. Доступно на: https://www.visualcapitalist.com/countries-highest-flood-risk/.

[16] VOSviewer (2023). *VOSviewer version 1.6.19.* Доступно на: https://www.vosviewer.com/.

[17] Web of Science – WoS (2023). *Results for flood (Topic) AND "environmental risk" (Topic) AND model (Topic)*. Доступно на: https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/f2c1ab85-fb4d-401d-9818-54207fabdb4c-91e54968/relevance/1.

[18] Zornic, N., Bornmann, L., Maricic, M., Markovic, A., Martic, M., & Jeremic, V. (2015). Ranking institutions within a university based on their scientific performance: A percentile-based approach. *Profesional de la información*, *24*(5), 551-566. https://doi.org/10.3145/epi.2015.sep.05

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ОБНОВА РЕСУРСА ХИДРОМЕТАЛУРШКИХ ПРОЦЕСА И ЊИХОВА ОПЕРАЦИОНА ОПТИМИЗАЦИЈА ЗА ПРОЦЕСЕ ПРОИЗВОДЊЕ АЛТЕРНАТИВНЕ ЕНЕРГИЈЕ И ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ – ПРИКАЗ OxyRePair ПРОЈЕКТА ФОНДА ЗА НАУКУ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

# RENEWAL OF THE RESOURCES OF HYDROMETALLURGICAL PROCESSES AND THEIR OPERATIONAL OPTIMIZATION FOR ALTERNATIVE ENERGY PRODUCTION AND ENVIRONMETAL PROTECTION – AN INTRO TO OxyRePair PROJECT OF THE SCIENCE FUND OF THE REPUBLIC OF SERBIA

МАЈА СТЕВАНОВИЋ[1], МАРИЈА МИХАИЛОВИЋ[2*], МАРКО СТЕВАНОВИЋ[3], ГАВРИЛО ШЕКУЛАРАЦ[2], КАТАРИНА БОЖИЋ[2,4], МАРИЈАНА ПАНТОВИЋ ПАВЛОВИЋ[2,4], МИРОСЛАВ ПАВЛОВИЋ[2,4], ЗОРАН РАДОИЧИЋ[5], ЈАСМИНА СТЕВАНОВИЋ[2,4], ВЛАДИМИР ПАНИЋ[2,4,6]

[1] Иновациони центар Технолошко–металуршког факултета, Београд
[2] Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију, Београд, marija.mihailovic@ihtm.bg.ac.rs
[3] ФАМ – Факултет за менаџмент, Сремски Карловци
[4] ИХТМ Центар изузетних вредности за хемију и инжењеринг животне средине, Београд
[5] Факултет организационих наука, Универзитет у Београду
[6] Државни универзитет у Новом Пазару, Нови Пазар

---

***Резиме:*** *Индустријски процеси производње лимених контејнера за паковање хране, екстракције племенитих метала, санације индустријских отпадних вода и контаминираног земљишта и производње водоничног горива из обновљивих извора енергије захтевају хемијски стабилан/еколошки прихватљив материјал способан да оксидира воду и органске загађиваче уз мали утрошак енергије. Ови процеси су типични хидрометалуршки са потрошњом електричне енергије, који користе као енергетски ресурс аноде од титана са активним и скупим премазом од оксида племенитих метала ограниченог века трајања. Након деградације, аноде треба одложити као процесни отпад или анодни премаз треба обновити уз велике трошкове. Радни век, активност и цена нових/обновљених премаза зависе од њиховог састава, структуре и дебљине и начина наношења премаза са уједначеном дебљине. Пројекат OxyRePair Фонда за науку Републике Србије који реализује Институт за хемију, технологију и металургију истражиће нову процедуру производње/обнављања анода са оптимизованом методологијом за директну примену у погонима домаћих компанија. Процедура ће бити операционо оптимизована Fuzzy логичким Takagi–Sugeno приступом и препознавањем шаблона за производњу нових анода за еколошки прихватљиве процесе третмана тла и отпадних вода, катодне заштите у земљишту, морској води и бетонским металним конструкцијама, као и анода водених електролизера за производњу водоничног горива из обновљивих извора енергије. Резултати ће утицати на смањење индустријског отпада, одрживу потрошњу и производњу енергије, као и трошкове производње у прехрамбеној индустрији, металургији и заштити од корозије, уз истовремени одрживи напредак ка чистим технологијама у тешкој индустрији.*

***Кључне речи:*** *одрживи индустријски системи, чистије технологије за складиштење енергије из одрживих извора, унапређење пословних модела смањењем процесног отпада, повећање енергетске ефикасности, пројектовање процесних материјала продуженог века трајања смањење загађења третманом отпадних индустријских вода и загађеног земљишта, смањена емисија загађујућих материја.*

***Abstract:*** *Industrial processes of the production of tin containers for food packaging, precious metal extraction, remediation of industrial wastewaters and contaminated soils and hydrogen fuel generation from renewable energy sources require a chemically stable/environmentally-friendly resources able to oxidize the water and organic pollutants with low energy consumption. These processes are typically hydrometallurgical with electrical energy consumption, which employ titanium anodes with an active and expensive coating of precious metal oxides of limited service life. Upon degradation, the anodes are to be disposed as process waste or the anode coating should be repaired externally with high costs. Service life, activity and prize of the new/repaired coatings depend on their composition, structure and thickness and application method for imperatively uniform-thickness coatings. A novel anode production/renewal procedure will be investigated within OxyRePair project of the Science Found of the Republic of Serbia realized by the Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy of the University of Belgrade, involving an optimized easy-to-use methodology for in-site procedure for the reparation of waste anodes of improved service characteristics. The procedure will be validated by operational research applying Fuzzy logic analysis by Takagi–Sugeno approach and pattern recognition for the production of new anodes for the environmentally-friendly processes of wastewater soil treatments, cathodic protection of in-soil, sea water and concrete metallic constructions, as well as the anodes of water electrolyzers for hydrogen fuel production. The results will impact the reduction of industrial wastes, sustainable energy consumption and production, as well as production costs in food industry, metallurgy and corrosion protection, with simultaneous self-sustainable progress toward clean technologies in heavy industry.*

***Keywords:*** *sustainable industrial systems, cleaner technologies for energy storage, improvement of business models by reduction of process wastes, increase in energy efficiency, design of process materials of increased service life.*

## 1. УВОД

Иновативна процедура за потпуну обраду и репарацију отпадних титанских анода у индустријским процесима који укључују споредну реакцију оксидације воде уз утрошак електричне енергије предмет је операционог истраживања у оквиру пројекта *OxyRePair* који ће у периоду 2023–2025. финансирати Фонд за науку Републике Србије. Пројекат ће понудити процедуру јединствену у домаћем и регионалном индустријском пословном окружењу. Тренутно, обрада и репарација захтевају знатне трошкове за индустријске компаније које практикују процесе са оксидацијом воде. Поступак репарације ће по први пут бити операционо оптимизован како би се предвидели параметри за производњу нових анода било ког облика који захтевају специфични процеси. Очекује се да ће истраживање утврдити све кораке за припрему/производњу: механичку репарацију, формулацију премаза и режим термичке обраде премаза. Главни циљ је предвиђање услова сваког појединачног корака како би се достигао прихватљив радни век ресурса за економски прихватљив поступак репарације.

Поступак ће бити тестиран како би се операционо поставила корелација параметара поступка и процесних перформанси ресурса. Ово ће укључивати експериментално испитивање кључних својстава обновљеног ресурса у функцији параметара поступка припреме и обнове. Анализа *Fuzzy* логичким *Takagi–Sugeno* (ТС) приступом и статистичким препознавањем шаблона ће бити примењена за корелацију параметара поступка и састава ресурса са његовим основним процесним својствима Машинско учење линеарном регресијом биће примењено за предвиђање и процену перформанси ресурса за различите процесе. Активности пројекта би требало да достигну ТРЛ ниво 5, да би се омогућили ТРЛ нивои од 6 до 9 у евентуалној трећој години реализације пројекта.

Предложена процедура ће омогућити крајњим индустријским корисницима да комплетирају циркуларну економију у вези са употребом ресурса у својим производним процесима. Деактивирани ресурс, које се одлаже као процесни отпад, обнављаће сами корисници према предложеном поступку. Ово ће значајно смањити трошкове везане за одлагање и бригу о отпадним ресурсима, набавку процесне опреме и репарацију отпадних ресурса.

Основни циљ је да се процедура генерализује и оптимизује за све аспекте примене, као што је катодна заштита челичних конструкција у земљишту, морској води и бетону наметнутим струјама, третман индустријских отпадних вода [1, 2] и електролиза воде за зеленог водоничног горива из обновљивих извора енергије, као што су соларна и ветроенергија. Циљ пројекта се односи највише на специфичне индустрије које примењују електрохемијске процесе за производњу и таложење метала. У овим процесима, супротна реакција еволуције кисеоника из киселих раствора. Компаније за производњу метала, посебно оне које производе прах племенитих метала и амбалажу за храну, не практикују репарацију као корак за одрживи затворени круг употребе анода као ресурса, већ бирају између куповине нових и репарације деактивираних анода, у зависности од исплативости. Сходно томе, деактивиране аноде се акумулирају као процесни отпад и заузимају производни простор. Процедура ће омогућити компанијама да затворе круг употребе анода оптимизованом методологијом која је једноставна за коришћење за процедуру репарације отпадних анода на лицу места. Поред тога, пројектне активности ће предложити специфичну процедуру за дато производно окружење како би се продужио радни век аноде, а самим тим и смањила учесталост повремених прекида процеса производње за замену анода. Специфична процедура на лицу места ће на тај начин значајно смањити трошкове производње и побољшати управљање индустријским отпадом у поменутим предузећима.

Глобално, аноде за оксидацију воде су укључене у мере за смањење емисије угљен-диоксида алтернативном и обновљивом производњом енергије. Аноде су део економије зеленог водоника, јер се зелени водоник производи искључиво у воденим електролизерима са анодама обложеним оксидом који се напајају из обновљивих извора енергије као што су ветрогенератори или соларне ћелије.

## 2. КОНЦЕПТ И МЕТОДОЛОГИЈА ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА

Основни предмет активности на пројекту *OxyRePair* јесте примена савремених метода науке о материјалима у спрези са операционим истраживањима за оптимизацију процеса обнове индустријских ресурса из отпада. Она обухвата изналажење оптималног састава и структуре обновљеног ресурса иновативном хемијском синтезом уз минимални утрошак скупих компоненти корелацијом структуре, састава и перформанси за потенцијалну примену помоћу методологије препознавања шаблона и машинског учења. Иако постоје бројни литературни подаци који се односе на активиране титанске аноде и ресурсе на тржишту познате као димензионо стабилне аноде који извештавају о различитим типовима и конструкцијама анода за различите примене, не постоје јасне методологије и концепти који циљају на корелације између формирања анода и њихових перформаси за дати процес, а посебно за стабилност процеса и век трајања аноде као ресурса. Суштинска веза између структуре и морфологије ресурса, метода синтезе за потпуну контролу перформанси аноде је углавном непозната. Ови параметри директно утичу на потрошњу енергије у датом индустријском процесу. На радни век додатно утиче уједначеност активне дебљине ресурса. Као резултат изостанка поуздане корелације, радни век индустријских анода може бити знатно нижи у односу на оне наведене у литератури и спецификацији анода услед специфичности параметара процеса у датом окружењу [3, 4]. По правилу, дужи век трајања захтевају племенитије и скупље компоненте у формулацијама премаза, што значајно повећава трошкове припреме анода или реактивације истрошених отпадних анода.

Пројектне активности су усмерене на истраживање погодног поступка за обнову ресурса који би имао дефинисану структуру са најмањим могућим садржајем драгоцених и скупих компоненти. Статистички логички алати и машинско учење ће бити примењени да се доведу у корелацију физичко-хемијска својства ресурса и поступак обнове отпадних анода са перформансама ресурса који утичу на потрошњу енергије и радни век аноде.

## 2.1. Концепт статистичке корелације перформанси ресурса, својстава и параметара поступка обнове ресурса

Корелације између параметара који утичу на специфичне перформансе ресурса су скоро непознате, а неки од њих су потпуно на емпиријском нивоу. Радни век аноде у релевантном окружењу, као најважније питање, чини се најтеже за пројектовање на основу лабораторијских експеримената и предвиђања са прихватљивом тачношћу. Анализа *Fuzzy* логиком помоћу (ТС) приступа ће бити примењена у ову сврху [5]. Очекује се да анализа буде корисна и за предвиђање и процену перформанси ресурса у различитим процесима и применама у којима се одиграва оксидација воде под одређеним процесним условима (пречишћавање отпадних вода, ремедијација земљишта, зелени водоник из сунчеве и ветро-енергије, итд.).

У оквиру логичког приступа биће забележене поуздане чињенице и закључци у облику правила. За повезивање исказа користиће се оператор повезивања (*t*-норма) “*min*”. Комбинација повезаности свих израза одређује степен испуњености правила или снагу покретања правила (*rule firing strength*) пошто изражава колико добро претпоставка одговара датим вредностима улазних променљивих. За цео *Fuzzy* систем, важним се сматрају само степени испуњења већи од нуле. Након што се израчуна степен испуњености појединачног правила, доприноси појединачних последичних сегмената морају се одредити и склопити да би се акумулацијом добио резултат *Fuzzy* система и коначно пренети у узак домен де-*Fuzzy* кораком. ТС приступом се израчунава степен припадности скупу за све исказе $\mu_{ij}(x_j)$, $i = 1,\ldots,M$ и $j = 1,\ldots,p$, где је $M$ број правила *Fuzzy* система, а $p$ је број улазних параметара $x_j$. Исход Fuzzy модела је тада дефинисан као:

$$\hat{y} = \frac{\sum_{i=1}^{M} f_i(\mathbf{x})\mu_i(\mathbf{x})}{\sum_{i=1}^{M} \mu_i(\mathbf{x})} \tag{1}$$

где је **x** улазни вектор, а $f_i(\mathbf{x}) = w_{i,0} + w_{i,1}\mathbf{x}_1 + w_{i,}\mathbf{x}_2 + \ldots + w_{i,p}\mathbf{x}_p$ функција линеарне регресије. Ако се *Fuzzy* модел прикаже у конјуктивној нормалној форми и min функција искористи за *t*-норму, онда се степен испуњености правила дефинише као:

$$\mu_i(\mathbf{x}) = \min[\mu_{ij}(x_j)] \tag{2}$$

За анализу параметара у пројекту користиће се Гаусова функција за дефиницију чланова скупа:

$$\mu_{ij}(x_j) = e^{-(x_j - c_{ij})^2 / 2\sigma_{ij}^2} \tag{3}$$

где је $c_{ij}$ очекивана вредност Гаусове функције, а $\sigma_{ij}^2$ варијанса.

*Fuzzy* модел оптимизује претпостављене нелинеарне параметре – параметре у узрочном делу правила који одређују функције припадности, као иењихове положаје и ширине и линеарне параметре ($w_{i,p}$) у последичном делу правила. Линеарни параметри се лако процењују методом најмањих квадрата. Оптимизација структуре правила је комбинаторни проблем који се може решити ваљаним избором линеарних подскупова или нелинеарном глобалном оптимизацијом, на пример оптимизацијом са генеричким алгоритмом или оптимизацијом значајних накупина појединачних променљивих (*particulate swarm optimization*).

Резултати *Fuzzy* логичког нелинеарног приступа анализи параметара биће активностима пројекта додатно упоређени са резултатима методе машинског учења на основу препознавања шаблона. Машинско учење у овом случају заснива се на моделовању односа између зависних и независних променљивих уз примену линеарних функција предикције [6].

Као не-параметарски надгледни алгоритми машинског учења биће коришћени алгоритми $k$--најближих суседних параметара ($k$-NN). Улаз за алгоритам чини означени скуп података за проверу:

$$D = \{(\mathbf{x}_i, y_i)\}, i = 1, \ldots, n \tag{4}$$

где је $\mathbf{x}_i$ вектор регресије, $y_i$ ознака класе или континуална излазна промењљива, а $n$ број улазних промењљивих у скупу података. Како би потврдили предикцију (ознаку класе или континуирану циљну промењљиву), алгоритми типа $k$-NN проналазе $k$ најближих суседних параметара тачки упита $x_j$ и препознају ознаку класе (тј. класификују) или препознају континуирану циљну промењљиву (тј. регресирају) са највећим значајем. У регресији типа $k$-NN, предвиђање излаза је засновано на ваљаном означавању $k$ најближих суседа. Излазна зависно промењљива $y$ је тада просек значајости $k$ најближих суседа:

$$\hat{y}_j = \frac{\sum_{i=1}^{k} y_i}{k} \tag{5}$$

Најбољи избор вредности $k$ зависи од квалитета улазних података. Уопштено, веће вредности $k$ смањују непоузданост класификације, али доводе до већег преклапања граница између класа – оне су непрецизније дефинисане. Оптимална вредност за $k$ се може изабрати разним хеуристичким техникама. Променом вредности $k$ утиче се и на сложеност $k$-NN модела. Мора се пронаћи добар компромис између „пристрасности“ (модел није довољно сложен да добро уклопи податке када је к превелик) и велике варијансе (модел се превише уклапа у податке када је $k$ премало). Једна од главних предности $k$-NN приступа је да је релативно лак за имплементацију и интерпретацију. Осим тога, својим приступом апроксимацији сложених глобалних функција локално, може бити моћан предиктивни модел. Још једна предност је што $k$-NN приступ има резултате доследности. Како се количина података приближава бесконачности, двокласни $k$-NN алгоритам даје стопу грешке која није већа од двоструке Бајесове стопе грешке (даје минималну достижну стопу грешке за дату дистрибуцију података).

## 3. ЗАКЉУЧАК

Представљен је приступ операционим истаживањима на пројекту *OxyRePair* који финансира Фонд за науку РС у оквиру “Зеленог програма”, која имају за циљ да корелишу параметре синтезе и својстава обновљеног индустријског ресурса, са великим потенцијалом примене и у више значајних других индустријских и енергетских области, са захтеваним перформансама у будућој области примене.

Транс-дисциплинарна истраживања у пројектним активностима обухватају елементарно лабораторијско испитивање у релевантном окружењу материјала синтетизованих савременим иновативним поступцима. Перформансе добијених материјала добијају се анализом електричних својстава из домена електротехнике, док се анализа физичко-хемијских својстава заснива на постулатима науке о материјалима и инжењерству. Коначно, за предвиђање корелације, и њене поузданости, између перформанси обновљених ресурса као улазних промењљивих и својстава и параметара синтезе као улазних података употребиће се по први пут у инжењерско-научној пракси алати логике, статистике и вештачке интелигенције као дигитално-математичких дисциплина.

## ЗАХВАЛНИЦА

Истраживање спроведено уз подршку Фонда за науку Републике Србије БРОЈ ПРОЈЕКТА 6666, Renewal of the Waste Oxygen-Evolving anodes from Hydrometallurgy and their improved Activity for Hydrogen Economy, Wastewater and Soil Remediation - **OxyRePair**.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Kulandaisamy, S., Prabhakar Rethinaraj, J., Chockalingam, S.C., Visvanathan, S., Venkateswaran, K.V., Ramachandran, P., Nandakumar, V. (1997). Performance of catalytically activated anodes in the electrowinning of metals, Journal of Applied Electrochemistry, 27, 579–583.

[2] Kapałka, A., Fóti, G., Comninellis, Ch. (2010). Basic Principles of the Electrochemical Mineralization of Organic Pollutants for Wastewater Treatment. In: Ch. Comninellis, G. Chen, (Eds.), Electrochemistry for the Environment, Springer, New York, 1-23. https://doi.org/10.1007/978-0-387-68318-8_1

[3] Fierro, S., Comninellis, Ch. (2010). Kinetic study of formic acid oxidation on Ti/IrO2 electrodes prepared using the spin coating deposition technique, Electrochimica Acta, 55, 7067–7073.

[4] Cardarelli, F., Taxil, P., Savall, A., Comninellis, Ch., Manoli, G., Leclerc, O. (1998). Preparation of oxygen evolving electrodes with long service life under extreme conditions. Journal of Applied Electrochemistry, 28, 245-250.

[5] Freedman, D. (2009). Statistical Models: Theory and Practice, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

[6] Montgomery, D. C., Peck, E. A., Vining, G. G. (2012). Introduction to Linear Regression Analysis, John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ENVIRONMENTAL IMPACT OF PACKAGING AND CONSUMER OPINION ON THE USE OF ECOLOGICAL PACKAGING

PETRA TANOVIĆ[1] ANDREA GAJIĆ[2]

[1] Higher Education Technical School of Professional Studies in Novi Sad, Novi Sad, tanovic@vtsns.edu.rs
[2] Higher Education Technical School of Professional Studies in Novi Sad, Novi Sad,
gajic.andrea@gmail.com

***Abstract:*** *In recent years, more and more attention has been paid to the environmental suitability of packaging and packaging materials. In order to reduce the amount of packaging waste, many manufacturers pack their products in biodegradable or recycled packaging. In order to check the opinions and habits of consumers in purchasing products packed in ecological packaging, a survey was conducted. The paper presents the statistical results of a survey on the impact of packaging on the environment and consumer habits, which show the extent to which people are ready to use ecological packaging, all in order to preserve the environment.*

***Keywords:*** *Importance of packaging, ecology, ecological packaging, consumer habits*

## 1. INTRODUCTION

With the development of society, the needs of the population also grow, which results in the production of an increasing amount of products and, therefore, packaging, whose role is to "save and protect" the product, to enable the product to be used and manipulated more easily, and to communicate with potential customers and to attract them with its appearance.

The packaging developed together with the products and today we have a market full of conventional packaging materials that meet all the requirements prescribed by law and have become the standard. This motivated many manufacturers to launch new and more creative packaging in various shapes, sizes and colors in order to improve their position on the market. However, trying to attract as many customers as possible with as little financial expenditure as possible, fulfilling only the basic requirements that packaging must meet, manufacturers often neglect the environmental function of packaging. Packaging materials are chosen to be economical, easy to process and to protect the product well until the product is used.

In developed countries, where, in addition to economy, an important role is also given to the environmental factor of packaging, more and more innovations are made in the field of packaging with reduced environmental impact. Thus, today we have groups of packaging called "environmentally sustainable packaging", which must meet certain conditions that contribute to the preservation of the environment. Such advancements open up many possibilities for further development and represent the hope of preserving the environment by using less polluting types of packaging.

## 2. THE ROLE OF PACKAGING IN ENVIRONMENTAL PROTECTION

Packaging is a product made of materials of various properties, which serves for accommodation, storage, handling, delivery, presentation of goods and protection of contents, and includes items used as auxiliary means for packaging, wrapping, tying, sealing, preparing for shipment and labeling of goods [12]. With the development of the industry, more and more packaging waste is created. If the packaging is not properly disposed of after use, it represents a major environmental problem.

The most important element when making packaging is the choice of packaging material. Depending on the material, packaging can be paper, metal, glass, ceramic, textile, packaging made of polymer materials and packaging made of composite materials. The choice of materials further affects the choice of production technology, quality, shape, purpose and price. Packaging has several functions: protective, storage-transport, commercial, use and environmental functions [11]. The protective function of the packaging is reflected in the protection of the product during transportation, storage, sale and its use [11].

Packaging arouses the desire of consumers to buy products and creates satisfaction. With its color, shape, originality, construction, it draws attention to itself and mentally prepares the customer for shopping [10]. Recently, special attention has been paid to the impact of packaging on the environment. In the beginning, the environmental suitability of packaging was determined based on the impact of used and discarded packaging.

However, the environment is not only affected by used and discarded packaging, but also the processes of obtaining raw materials, packaging production, as well as procedures with used and discarded packaging [9, 11]. The least acceptable is packaging made of polymer materials because it breaks down very slowly and is practically indestructible. The only way to dispose of waste from polymer packaging is recycling [8].

Globally, the use of plastic packaging for consumer products has steadily increased. In 2012, the global plastic production volume was 288 million tons. In 2015, this figure increased to 448 million tons, 40 per cent of which was single-use plastic, mostly applied for food packaging [6].

In industry, polymer packaging is increasingly used for packaging due to its good properties [3]: Easy to process - Plastics are suitable for mass production, and objects of very complex shapes can be successfully produced in large series at a low cost; Low weight – objects made of plastic materials are light; Corrosion resistance - Most plastic materials are corrosion resistant, so they can be used in aggressive environments; Electrical insulating properties - Many polymer materials are good electrical insulators; Thermal insulation – As a rule, plastics are weak conductors heat, and in the form of foam they represent unsurpassed thermal insulators; Decorative effects – Polymer masses can be transparent and opaque, and can be dyed in an unlimited number of colors and shades. Correctly selected and shaped plastics can give exceptionally good decorative effects.

Hence, a paradox exists between the impacts and benefits of packaging choices, with industry heads pushing to increase plastic use while governments are increasingly banning or restricting single-use plastics. The acceptability or otherwise of these opposing motivations to consumers is still not known [7].

Many countries in the world are starting to consider the impact of packaging on the environment. Among them is China. In recent years, with the continuous development of China's economy and its rapidly growing internet and social activities, e-businesses, especially online shopping, have become increasingly popular. The quantity of packages continues to surge, and the problems of excessive resource consumption and mounting environmental pollution have become increasingly acute [4]. As the biggest developing country in the world, China is facing great pressure at home and abroad to achieve ecological balance and environmental protection. Because the packaging industry is closely related to environmental protection and sustainable development, green packaging is a new pursuit of consumers to achieve a balance between economic growth and ecological development [6].

Green packaging, a new eco-friendly product, has contributed to various aspects of environmental protection. To some extent, consumers tend to use green packaging and are willing to pay for it [4].

Ecological marketing claims have been criticized for confusing or misleading buyers, leading to calls for more rationality in promoting and evaluating 'green' products. However, emotions are important drivers influencing pro-environmental purchase decisions. There are studies in Norway that have investigated consumers' emotional and rational evaluations of environmentally friendly packaging [5].

Consumers are regularly confronted with apparently conflicting arguments about the ecological merits of alternative consumption patterns. As an example, there has been contradictory evidence about the ecological benefits of 'one use' plastic carrier bags versus 'long-life' bags, with claims that a 'long-life' bag may in fact be more ecologically harmful because materials needed to extend the life of a bag may eventually take much longer to decompose than a 'one-use' bag made from decomposable materials [13].

Most consumers are not able or willing to synthesize the competing claims of scientists and consequently may be most amenable to the argument which is most cogently expressed or which is in accordance with their prior beliefs. Companies seek to make ecological claims for their products based on partial analysis of the underlying science, and in the expectation that a large segment of consumers will not have the ability or desire to critically assess theirs claims [13]. One approach points to personal background factors such as age, income or education as predispo sing individuals to environmental concern [1]. According to [2], ecologically designed retail packaging is important for retailers in order to respond to the growing consumer attitude towards the environment.

The term "ecological packaging" has become more familiar to the market only in the last two decades. Today, ecologically justified packaging represents packaging that is made of materials whose production, application and recycling requires less energy and less environmental pollution than other materials with the same purpose [14].

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

In order to obtain data on the awareness of the population regarding the preservation of the environment and the role of packaging in this, a survey was conducted. The research was carried out online by surveying the population of different age groups and genders and different levels of education. 215 respondents from the territory of Vojvodina participated in the survey. Of the 215 respondents, 98 (45.58%) were male, and 117 (54.42%) were female. According to age, there were 6 respondents (2.89%) under the age of 18, 164 respondents (76.28%) aged 19 to 29, 43 (20%) aged 30 to 49, and only 2 respondents (0.93%) were older than 50. The survey was anonymous, which contributed to more honest answers, and therefore a better result of the survey. Answers were offered to the questions, for which the respondents had to decide. The survey consists of 7 questions and suggested answers, which were compiled by the authors. The aim of the survey is to assess whether consumers think about the environment when shopping and whether they are ready to contribute to environmental protection by choosing products in ecological packaging. The answers to the questions included in the survey are displayed graphically.

The aim of the research was to show the impact of packaging on customers, their buying habits and customers' knowledge about the impact of conventional packaging that they buy every day on the environment. Also, with the help of the survey, the respondents expressed their willingness to accept ecological packaging. In the rest of the text, the summary results of the examination on each question are presented without dividing the respondents into groups.

To the question "How important is packaging to you when shopping?" (Chart 1), the largest number of respondents, even 72%, answered that packaging is not important to them, 18% that packaging is important to them but not in the first place, while only 10% answered that packaging is very important to them when shopping.

To the question "Do you know how packaging affects the environment (from production to disposal)?" (Chart 2), half of the respondents (50%) answered that they know and think that awareness should be raised about it. They are followed by the answer "I don't know, but I would like to know more about it" with 24% and the answer "Yes" with 21%. The least chosen answer is "I don't know and I'm not interested" with 5%.

**Chart 1**: Answers to the question “How important is Packaging to you when Shopping?”

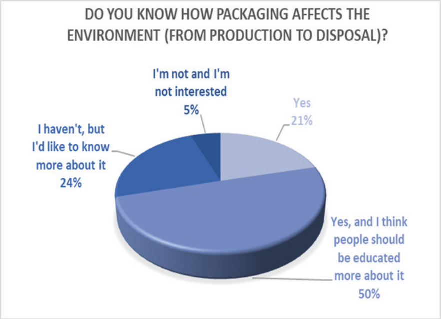


**Chart 2:** Answers to the question “Do you know packaging affects the environment (from production to disposal)?“

When asked "Do you think that ecological packaging affects the attractiveness of products?" (Chart 3), almost two-thirds of respondents (63%) believe that ecological packaging has a positive effect on the attractiveness of products. Exactly 30% believe that ecological packaging does not affect the attractiveness of the product, while the smallest percentage of respondents (7%) believe that ecological packaging negatively affects the attractiveness of the product.

To the question number four "Do you think that ecological packaging affects the price of the product?" (Chart 4), the largest number of respondents (64%) answered that they think that ecological packaging makes the product more expensive. Then 25% of respondents believe that ecological packaging does not affect the price of the product. The least respondents (11%) believe that products in ecological packaging are cheaper.

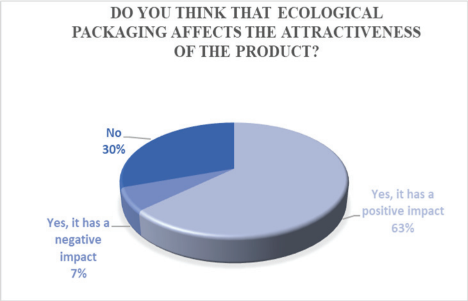


**Chart 3:** Answers to the question “Do you think that ecological packaging affects the attractiveness of the product? “

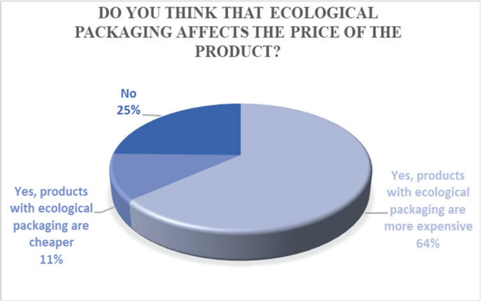


**Chart 4:** Answers to the question “Do you think that ecological packaging affects the price of the product?“

Answers to the question "Does ecological packaging affect your decision to choose a product?" are shown on Chart 5. In this question, the differences between the answers are the smallest, compared to the answers to the other questions. The largest number of respondents (43%) declared that ecological packaging would have an influence on their decision on choosing a product. A slightly smaller percentage (37%) would choose products with ecological packaging only if the products they already buy would start using ecological packaging. The smallest percentage (20%) of respondents declared that ecological packaging would not have an influence on product selection. Answers to the question "Would prize games or humanitarian actions encourage you to buy products in ecological packaging?" are shown on Chart 6. More than half of the respondents (52%) declared that the mentioned activities would encourage the purchase of products in ecological packaging. A slightly smaller percentage of respondents (42%) declared that they would buy products with ecological packaging unrelated to the mentioned actions, while only 6% of respondents declared that they would still not buy products with ecological packaging.

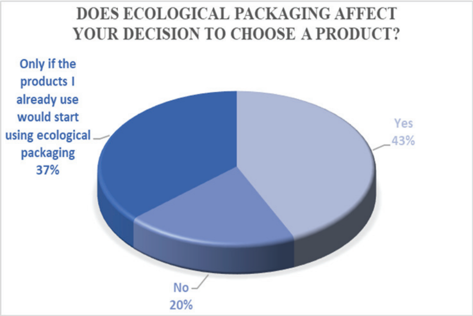


**Chart 5:** Answers to the question "Does ecological packaging affect your decision to choose a product?"

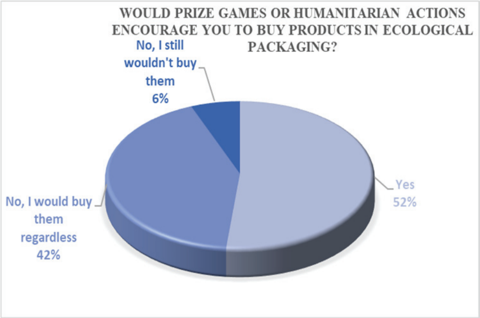


**Chart 6:** Answers to the question "Would prize games or humanitarian actions encourage you buy products in ecological packaging?"

The answers to the question "Do you think that you, as an individual, can contribute to the preservation of the environment by buying products with ecological packaging?" (Chart 7), show that the largest number of respondents (84%) answered "Yes", while 16% the respondent answered "No".

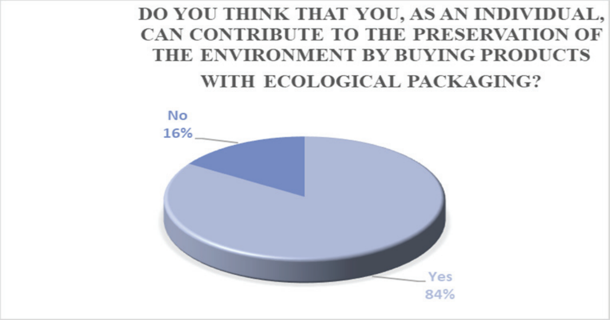


**Chart 7:** Answers to the question "Do you think that you, as an individual, can contribute to the preservation of the environment by buying products with ecological packaging?"

The majority of respondents declared that they would buy a product in ecological packaging even if it is more expensive. They are aware that packaging affects the environment and that they can protect it by buying green packaging. Respondents think that as individuals they should change their habits to protect the environment. The research shows that it is necessary to educate the population more about the impact of packaging on the environment and ways to reduce the negative impact. Buying environmentally friendly packaging is significantly influenced by personal norms, attitudes, environmental concerns and willingness to pay more. Most consumers want to use green packaging and are willing to pay for it.

The evaluation results of this research reflect the attitude of the consumer market and can help manufacturers to produce green packaging that is better accepted by combining technological requirements and consumer preferences. The dataset on consumers' willingness to pay for green packaging was created based on data collected directly from consumers. This paper shows that emotions are important for changing environmental purchasing behavior. This research is of practical importance and in line with future trends in packaging production. These data can serve as a reference for further research.

## 4. CONCLUSION

Considering the pollution of the environment and the fact that there is a large amount of packaging waste in municipal waste, it is necessary to use packaging that has a smaller negative impact on the environment as much as possible. Analyzing the results of the conducted survey, it is concluded that most of the respondents are influenced by the appearance of the packaging when purchasing. The majority of respondents also believe that ecological packaging has a positive effect on the appearance of the product. This leads us to the conclusion that manufacturers would not necessarily lose old or stop attracting new customers if they started packaging their products in ecological packaging, as long as it does not significantly affect the price of the product.

A significant majority of respondents believe that their actions can contribute to the preservation of the environment, no matter how small they may be, which represents a good basis for the preservation of the environment in the future.

## REFERENCES

[1] Bamberg S. (2003). How does environmental concern influence specific environmentally related behaviors? A new answer to an old question, *Journal of Environmental Psychology,* volume 23, 21-32.

[2] Dihn T.T., Su D.N., Tran K.T., Luu T.T., Duong T.H., Johnson L.W. (2022). Eco-designed retail packaging: The empirical conceptualization und measurement, *Journal of Cleaner Production,* Volume 379, Part 2, 134717.

[3] Eles-Ljubić V., Tomaž I., Arkapović I. (1971). Termoplastične mase, osnovne karakteristike materijala, konstrukcijske i tehnološke upute, 8-17, 34-38.

[4] Hao Y., Liu H., Chen H., Sha Y., Ji H., Fan J. (2019). What affect consumers' willingss to pay for green packaging? Evidence from China. *Resources, Conservation & Recycling.* Volume 141, 121-129.

[5] Koenig-Lewis N., Palmer A., Dermody J., Urbye A. (2014). Consumers' evaluations of ecological packaging – Rational and emotional approaches, *Journal of Environmental Psychology,* Volume 37, 94-105.

[6] Martinho G., Pires A., Portela G., Fonseca M.(2015). Factors affecting consumer' choices concerning sustainable packaging during product purchase and recycling, *Resources, Conservation & Recycling.* Volume 103, 58-68.

[7] Nguyen, A. T., Parker, L., Brennan, L., & Lockrey, S. (2020). A consumer definition of eco-friendly packaging. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119792.

[8] Stevanović P.(2008). Primena štampane polipropilenske ambalaže za pakovanje proizvoda od mleka produžene održivosti, *Doktorska disertacija*, 23.

[9] Varsanyi I. Monspart-Sényi J. (1995). Održivost i plastični ambalažni materijali materijali, *Savremeno pakovanje* 1-3/95, 271-275.

[10] Vranić D. (2004). Što i kako dizajn ambalaže govori o proizvodu, *Ambalaža 2,* 91-95.

[11] Vujković I., Galić K., Vereš M. (2007). Ambalaža za pakiranje namirnica, 4-57, 444-474.

[12] Zakon o ambalaži i ambalažnom otpadu (SL. Glasnik Republike Srbije br. 36/2009 i 95/2018 – dr. zakon).

[13] https://www.environmentagency.no/ downloaded 17.07.2023.

[14] https://sustainablepackaging.org/wp-content/uploads/2017/09/Definition-of-Sustainable-Packaging.pdf Definition of Sustainable Packaging (downloaded 07.06.2023.).

# ЕКОНОМСКИ МОДЕЛИ И ЕКОНОМЕТРИЈА

# ECONOMIC MODELS AND ECONOMETRICS

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# АНАЛИЗА ЗАПОСЛЕНОСТИ У СЕКТОРУ ТУРИЗМА И УГОСТИТЕЉСТВА У СРБИЈИ

# EMPLOYMENT ANALISYS IN TOURISM AND HOSPITALITY IN SERBIA

АЛЕКСАНДРА АНИЋ[1], БРАНИСЛАВА ХРИСТОВ СТАНЧИЋ [2],

[1] Економски факултет, Универзитет у Београду, aleksandra.anic@ekof.bg.ac.rs
[2] Економски факултет, Универзитет у Београду, branislava.hristov@ekof.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Туризам и угоститељство представљају једну од највећих и најбрже растућих индустрија на глобалном нивоу. Ова делатност је радно интензивна и на светском нивоу запошљава близу 300 милиона људи. С обзиром на природу пословања у сектору туризма, постоје бројни изазови са којима се запослени суочавају на тржишту рада. Сезонски карактер посла, доводи до великог коефицијента обрта запослених, што захтева стална улагања од стране туристичких ентитета, а самим тим повлачи и велике трошкове. Са друге стране захтеви потрошача у смислу 24/7 подразумевају континуирано пружање услуге и неминовно намећу неуобичајен начин рада који подразумева, рад викендом, ноћне смене или рад током празничних периода. Природа тржишта утиче на профил самог запосленог, па се у овој индустрији запошљава велики број младих, жена, као и миграната. Боље разумевање тржишта рада у сектору туризма и угоститељства намеће потребу његове дубље анализе и квантификовања. У том смислу у раду је извршена дескриптивна анализа запослености у сектору смештаја и исхране и пића у периоду од 2015–2022. године са акцентом на анализу броја запослених, њихових зарада, као и доприноса овог сектора креирању бруто додате вредности.*

***Кључне речи:*** *туризам и угоститељство, тржиште рада, запосленост, зараде, бруто додата вредност*

***Abstract:*** *Tourism and hospitality represent one of the largest and fastest-growing industries globally. This sector is labor-intensive and employs nearly 300 million people worldwide. Due to the nature of work in the tourism sector, employees face numerous challenges in the labor market. The seasonal nature of the industry leads to a high turnover rate, requiring constant investments from tourism entities and incurring significant costs. On the other hand, consumer demands for 24/7 services necessitate continuous service provision and impose unconventional working hours, such as weekend shifts, night shifts, or work during holiday periods. The nature of the market itself influences the profile of employees, with a large number of young people, women, and migrants being employed in this industry. A better understanding of the labor market in the tourism and hospitality sector calls for a deeper analysis and quantification. In this regard, a descriptive analysis of employment in the accommodation and food and beverage sectors was conducted from 2015 to 2022, focusing on the analysis of the number of employees, their wages, and the contribution of this sector to gross value added creation.*

***Keywords:*** *tourism and hospitality, labour market, employment, wages, gross value added*

---

## 1. УВОД

Туризам је једна од највећих и брзо растућих индустрија у свету. У 2019. години допринос туризма светском бруто домаћем производу (БДП) био је на врхунцу и износио је 9,630 милијарди амерички долара, тј. 10,3%. Допринос запослености огледао се у 333 милиона радних места, што подразумева да је сваки десети радник запослен у туризму [8].

Пандемија *Covid-19*, зауставила је тренда раста сектора туризма, који је у периоду од девет година бележио веће стопе раста од раста глобалне економије. Последице пандемије на сектор туризма и угоститељства биле су видљиве недуго после проглашења пандемије. Упркос програмима разних влада за задржавање и очување запослености, у 2020. години изгубљено је чак 62 милиона радних места, што представља пад од 18,6%. Међутим, како сектор туризма представља један од сектора који врло брзо реагује на шокове, али се и врло брзо опоравља, у 2021. години забележен је раст доприноса туризма глобалном БДП-у у износу од 21,7%, а дошло је и до пораста броја радних места у индустрији туризма и угоститељства са 271,3 милиона у 2020. години на 289,5 милиона у 2021. години. На тај начин је у 2021. години сектор туризма и угоститељства подржао свако једанаесто радно место [6]. Промена доприноса туризма и угоститељства запошљавању је спорија у односу на промену доприноса БДП-у, јер су радна места мање флексибилна, а такође и зато што је процес отпуштања постојећег и запошљавања новог особља временски захтеван и скуп процес.

Тржиште рада у туризму је веома динамичне природе, тј. карактерише га висок коефицијент обрта радне снаге услед његовог сезонског карактера као и висок степен флуктуације радне снаге између организација. У туристички развијеним земљама, обично постоји висока степен конкуренције за различите послове у сегменту туризма и угоститељства, на које често претендују млади, као и мање образовани радници [5]. Туристичка и угоститељска индустрија креира велики број радних прилика у различитим областима као што су смештај, транспорт, исхрана и пиће, организација и реализација путовања и др. Доступност квалификоване и обучене радне снаге је кључни елемент успеха сваког плана или програма развоја туризма. Међутим, уска грла у запошљавању у туристичкој и угоститељској индустрији огледају се у великој сезонској флуктуацији, ниском статусу посла, радно време које подразумева прековремени и ноћни рад и често ниске плате. Непосредне и најочигледније последице овакве ситуације су тешкоће у запошљавању одговарајућег особља, као и висок коефицијент обрта запослених што производи негативан утицај на успех читаве индустрије [1].

## 2. КАРАКТЕРИСТИКЕ РАДА У ТУРИЗМУ И УГОСТИТЕЉСТВУ

Стопа запослености је макроекономска варијабла која је незаобилазан сегмент економског развоја. Запошљавање повлачи за собом ангажовање не само људи, већ и свих других фактора производње како би се произвеле адекватне робе и услуге, што даље доводи до индиректних и индукованих утицаја на привреду [3].

Туризам и угоститељство могу утицати на запосленост на директан, индиректан и на мултипликован начин. Директан допринос запошљавању огледа се кроз пораст броја запослених у делатностима туристичке привреде, тј. кроз пораст броја запослених у хотелима, ресторанима, туристичким агенцијама, авио компанијама, продавницама сувенира итд. Са друге стране, туризам и угоститељство такође подржавају индиректно запошљавање у активностима које обављају добављачи ресторана, грађевинске компаније које граде и одржавају туристичке објекте, као и сва неопходна инфраструктура, произвођачи авиона, маркетиншке агенције, рачуноводствене услуге, које су више или мање зависне од компанија које директно пружају услуге туристима. Допринос туризма једној земљи додатно је појачан феноменом познатим као мултипликатор прихода од туризма. Мултипликовани или индуковани ефекти од туризма и угоститељства јављају се јер ће новац који страни туристи потроше у дестинацији бити поновно потрошен од стране прималаца, повећавајући укупни приход, запосленост и друге макроекономске показатеље [7].

Како је сектор туризма и угоститељства изузетно радно интензиван, он је и значајан извор запошљавања. Сматра се једним од водећих светских ствараоца радних места, који захтевају различите нивое вештина и омогућава брз улазак на тржиште рада за младе, жене и раднике који мигрирају из својих земаља ка туристички развијеним земљама [5]. Сектор туризама и угоститељства пружа могућности запошљавања особама које први пут улазе на тржиште рада или имају потешкоћа у проналажењу запослења на другим местима. Тако туризам пружа прилику за запошљавање радника са ниским квалификацијама и радника са мало стручне спреме, етничким мањинама и мигрантима, незапосленој омладини, дугорочно незапосленим особама, као и женама са породичним обавезама, које могу обављати само хонорарне послове. Ове врсте радних прилика такође представљају важан додатни извор прихода за пензионере и друге особе које пролазе кроз транзицију у раду. Са социјално-економског становишта, запошљавање је важно за приход, лични развој и самопоуздање људи. Стога, квалитет радне снаге дефинитивно представља кључни елемент за функционисање туристичке индустрије [7].

Захтеви тражње у хотелима и ресторанима подразумевају доступност услуге 24/7, па се запосленима неминовно намеће неуобичајен начин рада који подразумева, рад викендом, ноћне смене или рад током празничних периода [2]. Овакви радни услови повећавају стрес радницима са породичним обавезама, посебно женама због бриге о деци и старијима, као и кућним пословима. Рад по позиву, повремено, привремено, сезонско и хонорарно запослење је повезано са несигурношћу, релативно ниском платом (често испод националног просека), нестабилношћу посла, ограниченим могућностима за напредовање у каријери, високим нивоом подуговарања и извођења радова, као и високом стопом флуктуације. Све ове ствари варирају од земље до земље [5]. Наведене чињенице представљају велике изазове са којима се туристичко тржиште суочава приликом запошљавања радне снаге.

Подаци о запошљавању у туризму су основни за разумевање тржишта рада, формулисање релевантних политика стварања радних места, промоцију могућности запошљавања и планирање потребне радне снаге. Мотивисана и стручна радна снага кључни су елемент конкурентности и одрживости дестинације. Мерење туристичког тржишта рада и даље представља изазов због различитих метода мерења и извора података на међународном, националном и регионалном нивоу. То често резултира неконзистентним и фрагментисаним резултатима и не омогућава упоредивост међу дестинацијама [4].

У даљем тексту биће извршена анализа запослености у сектору смештаја и исхране и пића као важном сегменту читаве туристичке индустрије Србије. Циљ рада је да се сагледају кретања како по питању броја запослених у овом сектору, тако и плата запослених. Како период посматрања обухвата период од 2015–2022. године, обухваћене су и кризне године изазване пандемијом корона вируса, па ће бити сагледане и евентуалне негативне последице на тржишту рада у поменутом сектору.

## 3. ДЕСКРИПТИВНА АНАЛИЗА

### 3.1. Анализа запослености

За анализу запослености користимо податке Централног регистра обавезног социјалног осигурања које објављује Републички завод за статистику (РЗС).[1] С обзиром на то да је РЗС прешао на овај извор података од 2015. године, посматраћемо запосленост у периоду 2015–2022. године.

У делатности услуге смештаја и исхране је било нешто мање од 90 хиљада запослених у 2022. години. У односу на 2015. годину, када је број запослених износио 65 хиљада, број запослених се повећао за 23 хиљаде, односно за 35,6%. Овај кумулативни раст је много већи него раст запослености у сектору услуга (8,9%) и укупне запослености (13,3%). Запослени у

---

[1] Обухваћени су запослени у правним лицима, лица која самостално обављају делатност, предузетници и запослени код њих. Под појмом запослени подразумевају се лица која имају формално-правни уговор о запослењу, односно заснован радни однос са послодавцем, на одређено или неодређено време; лица која раде ван радног односа, на основу уговора о делу или на основу уговора о обављању привремених и повремених послова.

овој делатности чине 3,9% укупне запослености у 2022. години, док је њихово учешће у сектору услуга 5,8%. Ковид пандемија је значајно успорила раст запослености у услугама смештаја и исхране, па је раст у 2020. години износио 4,1%, у 2021. години 1,0%, а у 2022. години 2,2%. Ако погледамо на двоцифреном нивоу делатности, односно посебно смештај и делатност припремања и послуживања хране и пића, видимо да је веће учешће запослених у делатности припремања и послуживања хране и пића. Они чине 80% укупне запослености у делатности услуге смештаја и хране, и то учешће је непромењено у периоду 2015–2022. У 2021. у односу на 2020. годину, број запослених је смањен за 2,2% у делатности смештај, док је благо повећан у делатности припремање и послуживање хране и пића (1,9%). Пандемија је имала већи негативан утицај на смештај у односу на припремање и послуживање хране и пића. Табела 1. приказује број запослених у делатности услуге смештаја и исхране, као и кумулативну стопу раста у 2022. у односу на 2015. годину.

**Табела 1: Број запослених, 2015–2022.**

| | Сектор услуга | Делатност услуге смештаја и исхране | Делатност Смештај | Делатност припремања и послуживања хране и пића |
|---|---|---|---|---|
| 2015 | 1.392.584 | 65.363 | 13.068 | 52.301 |
| 2016 | 1.316.661 | 67.902 | 13.856 | 54.046 |
| 2017 | 1.349.619 | 71.744 | 14.222 | 57.522 |
| 2018 | 1.393.023 | 78.487 | 15.492 | 62.995 |
| 2019 | 1.417.468 | 82.459 | 16.561 | 65.898 |
| 2020 | 1.438.293 | 85.840 | 17.370 | 68.470 |
| 2021 | 1.480.394 | 86.738 | 16.985 | 69.753 |
| 2022 | 1.516.881 | 88.612 | 18.030 | 70.582 |
| 2022/2015 | 8,9% | 35,6% | 38,0% | 35,0% |

Извор: РЗС.

## 3.2. Анализа зарада[2]

Плате су у просеку ниже у делатности услуга смештаја и исхране у односу на укупне просечне зараде (39% u 2022), при чему је та разлика мања за делатност смештај (23%) у односу на делатност припремања и послуживања хране и пића (43%). Просечна зарада у Србији је износила 75 хиљада динара у 2022. години. У делатности смештаја је износила 58 хиљада динара, док је у делатности припремања и послуживања хране и пића износила 43 хиљаде. Додатно, просечне зараде у делатности смештаја и исхране су 19% мање у односу на медијалну зараду (Табела 2). Треба имати у виду да подаци о платама не обухватају бакшиш, али и део зараде који се добија на руке, што има за последицу да је вероватно просечна зарада у овој делатности већа у односу на званичан просек. Ипак, неформална запосленост ван пољопривреде је у Србији значајно смањена у последњих неколико година. Према последњим подацима за 2022. годину, она је износила 7%.

**Табела 2: Просечне нето зараде и медијална зарада у РСД, 2018–2022.**

| | Просечна зарада | Медијална зарада | Услуге смештаја и исхране | Смештај | Делатност припремања и послуживања хране и пића |
|---|---|---|---|---|---|
| 2018 | 49.650 | 38.749 | 31.637 | 40.571 | 29.340 |
| 2019 | 54.919 | 42.037 | 34.372 | 44.597 | 31.419 |

---

[2] Због промене методологије обрачуна зарада у 2018. години, посматраћемо зараде од 2018. године.

|  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|
| 2020 | 60.073 | 45.721 | 36.864 | 44.820 | 34.714 |
| 2021 | 65.864 | 49.931 | 39.687 | 49.667 | 36.993 |
| 2022 | 74.933 | 56.618 | 45.844 | 57.522 | 42.526 |

Извор: РЗС.

Реални индекси просечних нето зарада су приказани у табели 3. Ако посматрамо кумулативни раст у последње четири године, видимо да је реални раст у услугама смештаја и исхране исти као и реални раст просечних зарада, око 35%. У периоду од 2019. до 2021. године, укупне просечне зараде су имале већи међугодишњи раст у односу на раст просечних зарада у услугама смештаја и исхране. У 2022. години је као последица високе инфлације, реални раст зарада значајно успорио, па су просечне зараде порасле за 1,7%, док су зараде у делатности услуга смештаја и исхране порасле за 3,2%. У 2020. години су зараде у делатности смештаја незнатно опале (-1,1%), док су зараде у делатности припремања и послуживања хране и пића порасле за чак 8,8%. Реални раст је значајно успорио током 2021. и 2022, и био је мањи од 3% у делатности припремања и послуживања хране и пића. Реални раст зарада од 6,5% у 2021. у делатности смештаја је последица ниске базе из претходног периода.

**Табела 3: Реални индекси раста зарада, 2019–2022.**

|  | Укупно | Услуге смештаја и исхране | Смештај | Делатност припремања и послуживања хране и пића |
|---|---|---|---|---|
| 2019 | 108,5 | 106,6 | 107,9 | 105,1 |
| 2020 | 107,7 | 105,6 | 98,9 | 108,8 |
| 2021 | 105,4 | 103,6 | 106,5 | 102,5 |
| 2022 | 101,7 | 103,2 | 103,5 | 102,8 |
| 2022/2018 | 135,2 | 135,2 | 133,3 | 134,6 |

Извор: РЗС.

### 3.3. Анализа бруто додате вредности

У периоду пре кризе, услуге смештаја и исхране су остваривале већи међугодишњи реални раст бруто додате вредности (БДВ) у односу на стопу раста БДВ-а целе привреде. У 2017. години реални раст у делатности припремања и послуживања хране и пића је износио 12%, док је у 2018. години реални раст у делатности смештаја износио 13,5%. Пандемија је имала значајно већи негативан утицај на делатност услуга смештаја и исхране у односу на привреду као целину. Док је Србија у 2020. години имала пад БДВ-а од 0,6%, БДВ услуга смештаја и исхране је реално смањена за 29%, при чему је пад био много дубљи у делатности смештаја (-38%), у односу на делатност припремања и послуживања хране и пића где је БДВ смањена за четвртину. У 2021. години није достигнут преткризни ниво БДВ, па је БДВ била реално мања у односу на 2019. годину за чак 21% у делатности смештаја и за 1,6% у делатности припремања и послуживања хране и пића.

**Табела 5: Међугодишње реалне стопе раста бруто додате вредности, 2016–2021, %**

|  | Укупно | Услуге смештаја и исхране | Смештај | Делатност припремања и послуживања хране и пића |
|---|---|---|---|---|
| 2016 | 2,9 | 7,6 | 4,0 | 8,9 |
| 2017 | 2,1 | 10,6 | 6,4 | 12,0 |
| 2018 | 4,3 | 6,8 | 13,5 | 4,6 |
| 2019 | 4,4 | 6,0 | 7,8 | 5,3 |
| 2020 | -0,6 | -29,1 | -38,3 | -25,9 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2021 | 7,4 | 31,8 | 28,2 | 32,8 |
| 2021/2015 | 22,1 | 25,9 | 7,1 | 32,2 |
| 2021/2019 | 6,8% | -6,6% | -20,9% | -1,6% |

Напомена: Податак за 2020. годину је ревидирани податак, а за 2021. годину је претходни податак. Годишњи подаци за БДВ нису доступни за 2022, а квартални подаци немају посебно за ову делатност.

Извор: РЗС.

Учешће БДВ делатности услуга смештаја и исхране у БДП-у Србије износи око 1,3–1,4%. Учешће се у 2020. години смањило на 1,1%, али је већ у 2021. години било на нивоу од 1,3%. Око 1% БДП-а генерише делатност припремања и послуживања хране и пића, док око 0,3% БДП-а генерише смештај.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Посматрањем основних макреокономских показатеља за делатност услуге смештаја и исхране у последњих неколико година у Републици Србији, видимо да је пандемија имала диспропорционално већи негативан утицај на ову делатност у односу на утицај пандемије на целу привреду. Утицај је много видљивији на кретању бруто додате вредности, у односу на кретање плата и запослености. Држава је великим пакетом помоћи привреди успела да сачува радна места, али и да одржи раст плата. Кретање запослености и плата током пандемије углавном није било у складу са кретањем привредне активности. Релативно мањи ефекат на запосленост и плате је и последица брзог попуштања мера у Србији који су се односили на угоститељске објекте. Србија се и пре пандемије суочавала са битним променама на тржишту рада. Услед негативних демографских трендова, али и емиграције радне снаге у земље Европске уније, на тржишту рада је већ дуже време присутан мањак радника. Радници у угоститељству и туризму за време летње туристичке сезоне у значајном броју одлазе у Хрватску и Црну Гору. То доводи до раста преговарачке моћи радника, па плате реално расту брже него привредна активност у тој делатности.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Aynalem, S., Birhanu, K., & Tesefay, S. (2016). Employment opportunities and challenges in tourism and hospitality sectors. *Journal of tourism & Hospitality,* 5(6), 1-5.

[2] Busquets, J. (2010). *Accommodations and consumption diversification in the sector of tourist accommodations and restaurant industries, and its effects on labour relations*, International Labour Organization.

[3] Dayananda, KC. (2014). Tourism and employment: Opportunities and challenges in Karnataka-special reference to Kodagu District. *Journal of Humanities and Social Science*, 1-11. World Tourism

[4] https://www.unwto.org/sustainable-development/unwto-international-network-of-sustainable-tourism-observatories/tools-employment. приступљено 30.05.2023.

[5] International labour organization (2010). *Developments and challenges in the hospitality and tourism sector*, Geneva, Switzerland.

[6] Statista 2023, https://www.statista.com/markets/420/travel-tourism-hospitality/ приступљено 29.05.2023.

[7] World Tourism Organization and International Labour Organization (2014), *Measuring Employment in the Tourism Industries – Guide with Best Practices*, UNWTO, Madrid.

[8] WTTC (2022), Travel and tourism economic impact 2022, https://wttc.org/Portals/0/Documents/Reports/2022/EIR2022-Global%20Trends.pdf, приступљено 28.05.2023.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ОПТИМИЗАЦИЈА ПОРТФОЛИА УПРАВЉАЊА РИЗИКОМ ПРИМЕНОМ МОДЕЛА ДИНАМИЧКОГ ПРОГРАМИРАЊА

# OPTIMIZATION OF RISK MANAGEMENT PORTFOLIO BY APPLYING DYNAMIC PROGRAMMING MODELS

ЗОРАН ПОПОВИЋ[1]

[1] Универзитет у Београду, Економски факултет, zoran.popovic@ekof.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *У раду се анализира портфолио управљања ризиком економског система, а затим се врши примена модела динамичког програмирања за одређивање оптималног портфолиа..*

***Кључне речи:*** *Ризик, Стратегија управљања ризиком, Динамичко програмирање.*

***Abstract:*** *The paper analyzes the risk management portfolio of the economic system, and then applies the dynamic programming model to determine the optimal portfolio.*

***Keywords:*** *Risk, Risk Management Strategy, Dynamic Programming.*

---

## 1. УВОД

Управљање ризиком економског система представља важан аспект економске активности. У овом раду разматрамо три приступа управљања ризиком, и то:

- Пренос ризика
- Смањењење ризика
- Очување ризика

Под приступом пренос ризика подразумевамо осигурање предмета осигурања код осигуравача.

Под приступом смањење ризика подразумевамо формирање сопственог фонда за самоосигурање.

Под приступом очување ризика подразумевамо предузимање скупа мера које треба да имају за циљ смањење вероватноће настанка ризика, односно смањење очекиване штете.

Избор приступа управљања ризиком економског система пре свега зависи од карактеристика економског система и специфичности делатности којом се систем бави. Сматрамо да је ефикасније комбиновати приступе управљања ризиком, јер улагања у повећање нивоа безбедности (сигурности) су дугорочна, док се текуће стање економског система мења током времена и разликује од процена и расподеле средстава у претходним временским периодима. Дакле, при одређивању стратегије расподеле средстава неопходно је узети у разматрање различите приступе управљања ризиком као и промене које настају током времена.

## 2. МАТЕМАТИЧКО МЕТОДОЛОШКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МОДЕЛА УПРАВЉАЊА РИЗИКОМ ЕКОНОМСКОГ СИСТЕМА

У раду разматрамо производни економски систем где је профит $\pi$ дат изразом

$$\pi = R - C \ , \tag{1}$$

где је
$R$ - приход
$C$ - укупни трошкови.

Приход економском система резултат је збира прихода од продаје количине $Q$ по продајној цени $p_Q$ и могуће накнаде из осигурања $(IC)$ у случају настанка осигураног случаја са вероватноћом $p$.

Накнада из осигурања ($IC$) представља новчани еквивалент штете, односно износ који се исплаћује за покриће штете када се остваре економски штетни догађаји. При томе, износ штете ($AD$) представља фактички губитак на имовини осигураника. Елементи за одређивање накнаде из осигурања чине : износ штете $(AD)$, осигурана сума ($OS$) и вредност осигуране ствари ($VOS$).

Сума осигурања је износ на који је нека ствар осигурана. Вредност осигуране ствари представља горњу границу исплате накнаде из осигурања.

Што се тиче односа износа штете и вредности осигуране ствари, износ штете није нужно једнак вредности осигуране ствари, тј, ако је штета делимична тада је нижа од вредности осигуране ствари.

Накнада из осигурања мора бити у границама осигуране суме, а највише до вредности осигуране ствари и при томе не може бити већа од износа штете.

Уколико је $OS < VOS$ тада према начелу пропорционалности износ накнаде је само део износа штете. Ако је $OS > VOS$ тада износ накнаде не може бити већи од износа штете, тј, осигурана сума мора да се смањи на вредност осигуране ствари.

Накнаду из осигуирања ($IC$) методом пропорционалне одговорности дајемо следећим изразом

$$IC = \frac{OS \cdot AD}{VOS} \tag{2}$$

Претпоставимо да је обим производње $Q$ и продајна цена $p_Q$ условљена тржишним условима што значи да су дате величине егзогено задате вредности на које економски ситем нема утицаја.

Тада је приход

$$R(p) = Q \cdot p_Q + IC \cdot p_t \tag{3}$$

Како је вероватноћа настанка осигураног случаја $p$, тада можемо дефинисати ниво поузданости $q$ осигураног случаја изразом

$$q = 1 - p \tag{4}$$

Претпоставимо да су трошкови производње $C_Q$ константна вредност.

Трошкови да не дође до штете ($CP$) садрже: премију осигурања ($IP$), износ новчаних средстава који се улаже у фонд за самоосигурање ($SIF$) и средства за превентивне мере ($FPM$). Трошкови да не дође до штете $CP$ зависе од вероватноће осигураног случаја $p$ и нивоа поузданости $q$, па их дајемо изразом

$$CP(p,q) = IP + SIF + FPM \tag{5}$$

Премија осигурања представља цену осигурања, тј, цену ризика, при чему на висину премије осигурања поред цене ризика утичу и величина осигуране суме, трајање осигурања и каматна стопа пласираних сртедстава. Висина премије осигурања директно је сразмерна величини ризика, вредности осигуране суме и дужине трајања осигурања.

Износ средстава који се улаже у фонд за самоосигурање директно је сразмеран величини ризика и формира се у сваком временском периоду.

Износ средстава за превентивне мере директно је сразмеран нивоу поузданости економског система и улаже се у сваком временском периоду.

Износ штете ( $AD$ ) у случају ванредне ситуације је случајна променњива и зависи од вероватнођа настанка осигураног случаја $p$ .

Сада укупне трошкове можемо дати изразом

$$C(p,q) = C_Q + CP(p,q) + AD \cdot p_t \tag{6}$$

На основу претходно дефинисаниох услова, сада профит економског система дајемо изразом

$$\pi(p,q) = R(p) - C(p,q) \tag{7}$$

Расподела средстава за управљање ризиком економског система само у текућем периоду је непрактична. Као узроке превазилажења непрактичности наводимо да је неопходно да : разматрање трошкова текућег временског периода захтева се уз услов разматрања прихода из претходног временског периода. Други узрок превазилажења непрактичности садржан је у потреби да се у анализи улагања средстава управљања ризиком разматра више временских периода. Наиме, улагање средстава у било ком временском периоду утиче на стање и ниво поузданости економског система у наредним временским периодима.

## 3. ПРИМЕНА МОДЕЛА ДИНАМИЧКОГ ПРОГРАМИРАЊА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ОПТИМАЛНЕ СТРАТЕГИЈЕ УПРАВЉАЊА РИЗИКОМ

На основу изнесених ставова, проблем расподеле средстава као стратегије за управљање ризиком економског система, у раду ћемо применити метод динамичког програмирања за одређивање оптималне стратегије управљања ризиком.

Динамичко програмирање представља математички модел за одређивање екстремума функције критеријума са више промењљивих, и са унапред дефинисаним ограничењима. Основни принцип динамичког програмирања на бази кога се одређују решења је принцип оптималности, који се може представити као захтев за одређивањем оптималних решења у свакој етапи процеса, не узимајући у разматрање претходња стања и решења.

Одређивање стратегије расподеле средстава управљања ризиком економског система захтева решавање модела у временској димензији и по дефинисаним приступима управљања ризиком.

Накнаду из осигуирања ( $IC$ ) методом пропорционалне одговорности посматрано у временској димензији $t = 1, \cdots, T$ дајемо следећим изразом

$$IC(t) = \frac{OS \cdot AD(t)}{VOS} \tag{8}$$

Потребно је одредити оптималне износе новчаних средстава за премију осигурања, износ новчаних средстава који се улаже у фонд за самоосигурање и средства за превентивне мере у сваком од временских периода $t = 1, \cdots, T$ .

Премију осигурања у раду посматрамо као функцију ризика настанка осигураног случаја, величине осигуране суме и трајања осигурања, тј.

$$IP(t) = p_t \cdot OS(t) \cdot t, \tag{9}$$

при чему време трајања осигурања $t$ узимамо да је интервал једна година.

Износ средстава који се улаже у фонд за самоосигурање посматрамо као функцију случајне промењљиве настанка штете и вероватноће настанка осигураног случаја за сваки временски интервал, тј.

$$SIF(t) = AD(t) \cdot p_t \tag{10}$$

Под претпоставком да је $OS < VOS$, тада је $AD > IC$. Због ситуације где је могиће да је накнада штете мања од изазване штете у економском систему неопходно је предизимати превентивне мере. Средства за превентивне мере у сваком од временских периода $t = 1, \cdots, T$ посматрамо као функцију разлике између износа штете и накнаде штете у периоду $t$ и нивоа поузданости претходног временског периода $t-1$, тј.

$$FPM(t) = \left(AD(t) - IC(t)\right) \cdot q_{t-1} \tag{11}$$

Са ниовоа поузданости $q_{t-1}$ економски систем прелази на ниво поузданости $q_t$ на основу предузетих акција $\left(IP(t), SIF(t), FPM(t)\right)$. Нивои поузданости представљају стања економског система.

Профит остварен у период $t$ на основу предузетих акција $\left(IP(t), SIF(t), FPM(t)\right)$ и стања економског система у периоду $t-1$, тј. ниовоа поузданости $q_{t-1}$, дајемо изразом

$$\pi_t\left(q_{t-1}, IP(t), SIF(t), FPM(t)\right) \tag{12}$$

Поступак решавања дефинисаног модела динамичке оптимизације спроводимо кроз следеће фазе:

1. Фаза: Одреди се стање економског система, тј. ниво поузданости $q_T$ у последњем временском интервалу $T$. Na бази одређеног стања економског система датог нивоом поузданости, спроводимо условну оптимизацију стања $q_T$ тако што одређујемо оптималне вредности акција $\left(IP(T), SIF(T), FPM(T)\right)$ у зависности од нивоа поузданости $q_{T-1}$;
2. Фаза: Одређује се стање економског система, тј. ниво поузданости $q_t$ за сваки временски период $t$, где је $2 \le t \le T-1$, и при томе мора бити испуњен услов $q_t \le q_{t+1}$. Затим спроводимо условну оптимизацију за свако од стања $q_t$, за $t$ у интервалу $2 \le t \le T-1$, и одређујемо оптималне вредности акција $\left(IP(t), SIF(t), FPM(t)\right)$ у зависности од нивоа поузданости $q_{t-1}$;
3. Фаза: Одређује се почетно стање система, тј. почетни ниво поузданости $q_1$, а затим се одређују оптималне вредности акција $\left(IP^o(t), SIF^o(t), FPM^o(t)\right)$ и максималан профит $\pi_1\left(q_1, IP(1), SIF(1), FPM(1)\right)$.

## 4. ПРИМЕР

Ради јасније презентације разматраног метода и примене модела динамичког програмирања за одређивање оптималне стратегије управљања ризиком економског система, дајемо хипотетички пример.

Посматрамо временски период од пет година $(T=5)$. Како смо већ увели претпоставку да су обим производње и продајна цена егзогене варијабле, вредности за $Q=10.000$ и $p_Q=10$ претпоставили смо да су константе и исте у сваком од временских периода. Можемо онда претпоставити да су за константни обим производње трошкови производње исти у свакој години $(C_Q=80.000)$. Такође претпоставили смо да је осигурана сума ($OS=70.000$) и вредност осигуране ствари ($VOS=90.000$) иста у свакој години осигурања. Сваке године улажу се одређена средства за превентивне мере чиме се повећава ниво поузданости $q$ економског система, а смањује вероватноћа настанка осигураног случаја $p$, што је дато у Табели 1. Повећањем нивоа поузданости из године у годину износ потенцијалне штете се смањује (Табела 1).

**Табела 1:** Задате вредности за пет година

|  | $Q$ | $p_Q$ | $OS$ | $VOS$ | $AD$ | $q$ | $p$ | $C_Q$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t=5$ | 10,000.00 | 10.00 | 70,000.00 | 90,000.00 | 10,000.00 | 0.98 | 0.02 | 80,000.00 |
| $t=4$ | 10,000.00 | 10.00 | 70,000.00 | 90,000.00 | 15,000.00 | 0.96 | 0.04 | 80,000.00 |
| $t=3$ | 10,000.00 | 10.00 | 70,000.00 | 90,000.00 | 20,000.00 | 0.94 | 0.06 | 80,000.00 |
| $t=2$ | 10,000.00 | 10.00 | 70,000.00 | 90,000.00 | 25,000.00 | 0.93 | 0.07 | 80,000.00 |
| $t=1$ | 10,000.00 | 10.00 | 70,000.00 | 90,000.00 | 30,000.00 | 0.92 | 0.08 | 80,000.00 |

**Табела 2:** Добијене вредности на основу прорачуна дефинисаног модела динамичког програмирања

|  | $Q\cdot p_Q$ | $IC$ | $IP$ | $SIF$ | $FPM$ | $IC\cdot p$ | $AD\cdot p$ | $CP$ | $R(p)$ | $C(p,q)$ | $\pi(p,q)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t=5$ | 100,000.00 | 7,777.78 | **1,400.00** | **200.00** | **2,133.33** | 155.56 | 200.00 | 3,733.33 | 100,155.56 | 83,933.33 | **16,222.22** |
| $t=4$ | 100,000.00 | 11,666.67 | **2,800.00** | **600.00** | **3,133.33** | 466.67 | 600.00 | 6,533.33 | 100,466.67 | 87,133.33 | **13,333.33** |
| $t=3$ | 100,000.00 | 15,555.56 | **4,200.00** | **1,200.00** | **4,133.33** | 933.33 | 1,200.00 | 9,533.33 | 100,933.33 | 90,733.33 | **10,200.00** |
| $t=2$ | 100,000.00 | 19,444.44 | **4,900.00** | **1,750.00** | **5,111.11** | 1,361.11 | 1,750.00 | 11,761.11 | 101,361.11 | 93,511.11 | **7,850.00** |
| $t=1$ | 100,000.00 | 23,333.33 | **5,600.00** | **2,400.00** | **6,133.33** | 1,866.67 | 2,400.00 | 14,133.33 | 101,866.67 | 96,533.33 | **5,333.33** |

## 5. ЗАКЉУЧАК

На основу добијених резултата можемо извести следеће ставове :

- Премија осигурања $(IP)$ смањује се из године у годину. Узрок смањења премије осигурања јесте улагање средстава за превентивне мере и смањење вероватноће настанка осигураног случаја.
- Средства која се издвајају у фонд самоосигурања $(SIF)$ смањују се из године у годину. Узрок смањења ових средстава јесте смањење потенцијалне штете и вероватноће настанка осигураног случаја услед улагања средстава за превентивне мере.

- Средства за превентивне мере $(FPM)$ која се улажу сваке године, смањују се из године у годину. Узрок смањења средстава за превентивне мере јесте повећање ниво поузданости $q$ економског система из године у годину.

На бази добијених резултата датог хипотетичког примера, можемо извести закључак да је битна акција коју треба предузети у економском систему, издвајање средстава за превентивне мере и улагање истих са циљем повећања нивоа поузданости у економском систему.

Применом модела динамичког програмирања, добија се оптимална стратегија расподеле средстава на премију осигурања, фонд самоосигурања и износ за превентивне мере. Применом оптималне стратегије, профит као критеријум пословања економског система има стални раст.

Закључни став је да управљање ризиком економског система треба анализирати и моделирати применом динамичког приступа.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Бацковић, М., Поповић, З. (2018). Matematičko modeliranje i optimizacija. (2th ed.). Економски факултет Београд, CID.

[2] Bellman, R. (1957). Dynamic Programming. Princeton Un. Press. Princeton, New Jersy.

[3] Кочовић, Ј., Ракоњац-Антић, Т., Копривица, М., Шулејић, П. (2021). Osiguranje u teoriji i praksi.Економски факултет Београд, CID.

[4] Станојевић, Р. (2004). Dinamičko programiranje.Економски институт Београд.

# ИНФОРМАЦИОНИ СИСТЕМИ И ТЕХНОЛОГИЈЕ

# INFORMATION SYSTEMS AND TEHNOLOGIES

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ИНТЕГРАЦИЈА ЈАВА ДЕСКТОП ТЕХНОЛОГИЈА ГРАФИЧКОГ КОРИСНИЧКОГ ИНТЕРФЕЈСА КОРИШЋЕЊЕМ ABSTRACT FACTORY ПАТЕРНА

# INTEGRATION OF GRAPHICAL USER INTERFACE JAVA DESKTOP TECHNOLOGIES USING ABSTRACT FACTORY PATTERN

АНА КОРУНОВИЋ[1], СИНИША ВЛАЈИЋ [2]

[1] Факултет организационих наука, Београд, ana.korunovic@fon.bg.ac.rs
[2] Факултет организационих наука, Београд, sinisa.vlajic@fon.bg.ac.rs

***Резиме:*** *Предмет истраживања овог рада представља примена софтверских патерна у интеграцији различитих десктоп Јава технологија графичког корисничког интерфејса. Поред прегледа Јавиних технологија за изградњу графичког корисничког интерфејса (Swing, JavaFX, Apache Pivot и SWT), у раду је објашњен и Abstract Factory патерн. У овом раду, на студијском примеру који се бави обрадом пријава студената, показали смо како се може креирати одржива архитектура софтверског система која је настала интеграцијом различитих Јавиних GUI технологија коришћењем Abstract Factory патерна. Овако добијена архитектура представља основу за њене даље интеграције са новим Јава GUI технологијама.*

***Кључне речи:*** *Софтверски патерни, графички кориснички интерфејс,Swing, JavaFX, Apache Pivot, SWT*

***Abstract:*** *The research area of this paper is the application of software patterns in the integration of different Java desktop technologies of the graphical user interface. In addition to an overview of Java technologies for creating a graphical user interface (Swing, JavaFX, Apache Pivot, and SWT), design patterns are also explained, with a focus on the Abstract Factory pattern. In this paper, using a study example dealing with the processing of student applications, we have shown how a sustainable software system architecture can be created, which was created by integrating various Java GUI technologies using the Abstract Factory pattern. The architecture obtained in this way is the basis for its further integration with new Java GUI technologies.*

***Keywords:*** *Software design pattern, Graphical user interface, Swing, JavaFX, ApachePivot, SWT*

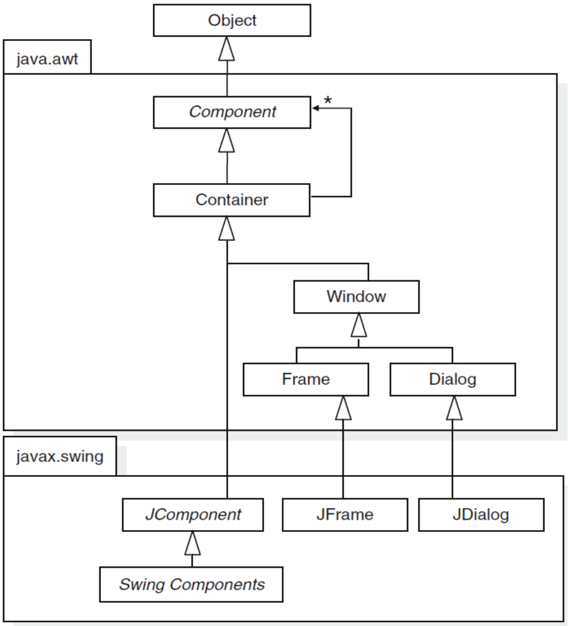
## 1. УВОД

Појам патерна први пут је формализовао Кристофер Александер (*Cristopher Alexander*), седамдесетих година прошлог века. Познати архитекта је уочио да се иста или слична решења (патерни) у архитектури, могу поново употребити за изградњу нових зграда, кућа и/или градова [1]. Две деценије након тога, софтверски инжењери, су почели да употребљавају патерне у својим програмима како би постигли бољи квалитет софтвера и смањили време његовог развоја. Књига „*Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*“[3], коју су написали Erich Gamma и група аутора (GOF – Gang of Four) 1994. године, представља темељ теоријске и практичне примене патерна пројектовања у софтверском инжењерству. У наведеној књизи су представљена 23 патерна пројектовања. Патерни су категоризовани у три групе: креациони, структурни и патерни понашања. ***Abstract Factory*** патерн, који је употребљен у овом раду, један је од креационих патерна пројектовања.

Када се развија софтверски систем потребно је направити архитектуру која ће моћи једноставно да се одржава и надограђује. Архитектура софтверског система се може реализовати коришћењем макро (*Enterprise Component Framework* (ECF), *Model View Controler* (MVC),...) и микро архитектуре (патерни пројектовања) [3,9]. Архитектура софтверског система се састоји из клијентског и серверског дела програма. У овом раду ћемо дати краћи преглед четири Јавине GUI (*Graphical User Interface*) технологије (Swing, JavaFX, Apache Pivot и SWT) које се користе за имплементацију екранских форми клијентског дела програма (друго, треће, четврто и пето поглавље). У шестом поглављу представљен је концепт патерна пројектовања, са акцентом на Abstract Factory патерн. У централном делу рада (поглавље седам), описана је интеграција Јавиних GUI технологија у једну апликацију, коришћењем Abstract Factory патерна пројектовања. Архитектура креираног софтверског система омогућава њено једноставно одржавање и надоградњу са новим GUI технологија.

## 2. SWING

Јава садржи различите библиотеке за развој графичког корисничког интерфејса. Прва која је развијена је *Abstract Window Toolkit (AWT)* и део је Јаве од верзије 1.0. Иако сада програмери пре бирају технологије JavaFX и Swing, AWT је и даље остао стандард за развој корисничког интерфејса у Јави. Управо неке Swing компоненте директно и/или индиректно користе класе из AWT библиотеке. Бројна ограничења AWT-а, попут *heavyweight* компоненти, немогућности измене њиховог изгледа (изглед је дефинисан од стране оперативног система) и платформска зависност, су иницирали развој бољег решења [7].



***Слика 1:*** *Хијерархија наслеђивања основних контејнер класа Swing-а и AWT-а*

Велика промена десила се са JDK 1.2, када је објављен Swing, као побољшана верзија AWT-а. Swing компоненте имплеметиране су у Јави и не зависе од конкретне имплементационе платформе. Њихов изглед није одређен оперативним системом, већ искључиво Swing технологијом (*lightweight* компоненте, *pluggable-look-and-feel*) [10].

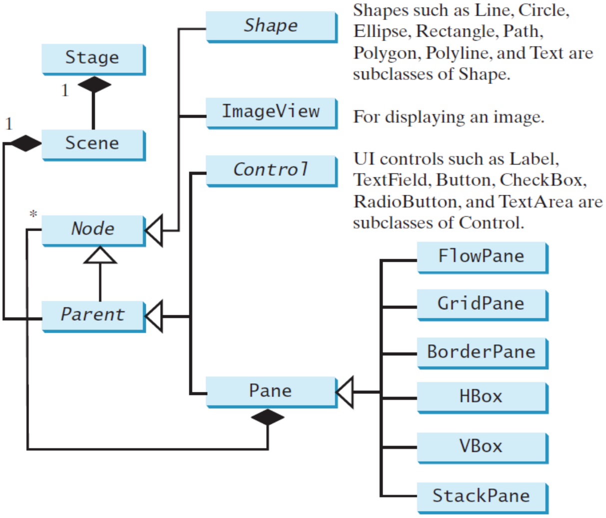
Кориснички интерфејс Swing-а састављен је од контејнера (*Container*) и компоненти (*JComponent*). Контејнери служе да групишу и организују групу компоненти, помоћу којих корисник врши интеракцију са апликацијом. У компоненте спадају поља за унос података

(*JTextField*), лабеле (*JLabel*), дугмићи (*JButton*), табеле (*JTable*) и др. На слици 1. може се увидети повезаност основних класа из *java.awt* и *javax.swing* библиотека.

## 3. JAVAFX

JavaFX представља технологију која поједностављује развој графичког интерфејса многих уређаја. JavaFX се може употребити како за развој *desktop* апликација, тако и за креирање богатих интернет апликација (*Rich Internet Application - RIA*) и апликација на различитим уређајима (нпр. мобилни уређаји, телевизори) [5]. Поред брзог и лаког развоја *RIA* апликација, JavaFX комбинује 2D и 3D графику и обезбеђује квалитетан видео и аудио садржај.

Swing технологија поред аутоматског генерисања кода из визулне репрезентације, ограничава имплементацију компоненти на Јава програмски језик. Основни слоган Swing-a *What You See Is What You Get* (*WYSIWYG*), убрзава процес имплементације жељеног изгледа апликације, али пак генерише код који је тежак за одржавање и надоградњу. Управо из овог разлога JavaFX долази са FXML скриптабилним језиком који описује изглед корисничког интерфејса у XML формату. Поред FXML-а, кориснички интерфејс се може имплементирати и коришћењем панела за уређивање компоненти, *Scene Builder*-а. *Scene Builder* олакшава постављање компоненти на форму користећи *drag-and-drop* принцип, док се у позадини генерише FXML датотека, који повезује апликациону логику и кориснички интерфејс. За додатно побољшање изгледа графичког интерфејса, JavaFX користи и *Cascading Style Sheets* (*CSS*).



***Слика 2:*** *Дијаграм класа JavaFx-a [5]*

FXML, поред изгледа екранских форми, дефинише и контролер корисничког интерфејса који је одговоран за реаговање на догађаје. За разлику од Swing технологије, JavaFX имплицира употребу *Model-View-Controller* (*MVC*) патерна. Поглед (*View*) је садржан у FXML-у, а у контролеру се налази апликациона логика.

Графички интерфејс JavaFX-a чини колекција чворова (*nodes*) који чине стабло [8]. Чворови, тј. компоненте екранске форме су део сцене (*Scene*) која омогућава њихов приказ на позорници (*Stage*). Компонента *javafx.stage.Stage* представља прозор JavaFX апликације и контејнер вишег нивоа конструисан од стане имплементационе платформе. Чворови могу да буду 2D и 3D објекти, слике, видео и аудио записи и слично [12].

## 4. SWT

*Standard Widget Toolkit (SWT)* представља алтернативу Swing и AWT библиотека за развој графичког корисничког интерфејса у Јави. Развијен је он стране програмера унутар *Eclipse* фондације и представља основу на којој је изграђен Eclipse IDE. SWT омогућује изградњу богатих апликација (*Rich graphical user interface applications*) користећи изворне компоненте корисничког интерфејса (*native widgets)* имплементационе платформе.

За разлику од AWT-а и Swing-а који не користе имплементацију графичких компоненти (као што су прозори, поља за унос, лабеле, дугмићи) конкретних оперативних система, већ их обмотавају и додају нови слој Јава кода на њих, SWT користи другачији приступ. SWT посредством *Java Native Interface (JNI)* приступа библиотекама за изградњу 2D и 3D апликација оперативног система, обезбеђујући да графичке компоненте изгледају исто као и изворне, јер оне то управо и јесу. На овај начин, SWT постиже могућност „напишите једном, покрените изворно“ (“*write once, run natively*”) [4] .

Услед коришћења изворних компоненти, SWT апликације поред изгледа који је исти као и било који други Windows/Linux/MacOS програм, постижу боље перформансе и стабилност у односу на Swing и AWT. Још једна од предности јесте и рефлектовање свих побољшања компоненти и функционалности оперативног система на SWT апликацију (пример је фунционалност *drag-and-drop*) [6].

Основне градивне компоненте сваке SWT апликације представљају *Display, Shell* и *Widgets*. *Display* представља спону између апликационог нивоа SWT класа и оперативног система [11]. У апликацији може постојати искључиво један објекат класе *Display*, чија је улога управљање догађајима. Класа *Shell* може се истанцирати више пута у оквиру једне апликације и представља екранску форму која садржи различите дугмиће, табеле, поља за унос података и сл. Класа *Widget* аналогна је класи *Component* AWT библиотеке и *JComponent* Swing библиотеке. Ова класа представља надкласу графичких компоненти попут, *Label, Button, Text, List, Combo, Slider* и *ScrollBar*.

## 5. APACHE PIVOT

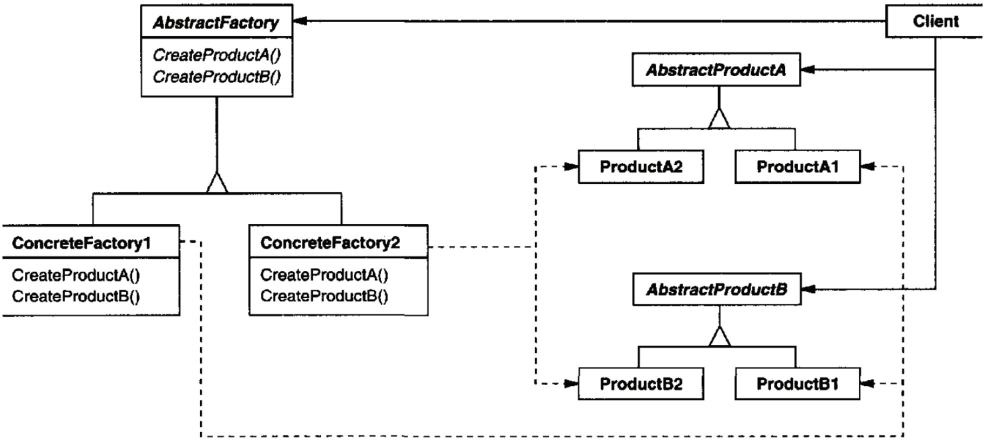
За креирање богатих интернет апликација у Јави, Apache Software корпорација развила је *open-source* библиотеку Apache Pivot. Класе ове библиотеке су груписане у категорије [2]: *Core* (класе које обезбеђују функционалности осталим категоријама), *WTK* (компоненте графичког интерфејса, попут прозора, дијалога, дугмића и поља за унос података), *Web* (класе које обезбеђују комуникацију са удаљеним рачунарима) и *Charts* (класе за израду графикона).

Слично као и код JavaFX-а, Apache Pivot подржава XML. Наиме, графички интерфејс се у потпуности може имплементирати помоћу скриптабилног језика, BXML, а компоненте дефинисане у њему се учитавају помоћу *BXMLSerializer* класе. Битно је нагласити да се ослушкивачи на догађаје не могу дефинисати помоћу XML-а, већ се то може искључиво постићи кришћењем Јава програмског језика или било ког другог језика Јава виртуелне машине (*JavaScript*, *Groovy* и *Scala*).

У хијерархији класа WTK компоненти, надкласа свих је класа *Component.* Класе које не наслеђују апстрактну класу *Container* одговорне су за приказ и прихват података са екранске форме. Класе које наслеђују класу *Container,* имају одговорност груписања осталих компоненти, креирајући њихову хијерархију [2].

## 6. ABSTRACT FACTORY ПАТЕРН

Abstract Factory патерн је један од креационих патерна пројектовања. Он обезбеђује интерфејс (*AbstractFactory*) за креирање групе (породице) повезаних или зависних објеката (*Product*) без навођења њихових конкретних класа. Клијенту (*Client*) је дозвољен приступ апстрактном интерфејсу, али не и конкретним објектима (производима), што значи да он нема информацију који производ ће бити креиран. Клијент контролише и надзире креирање сложеног производа, док имплементације интерфејса *AbstractFactory* имају одговрност креирања делова сложеног производа [9].



**Слика 3:** *Структура Abstract Factory патерна [3]*

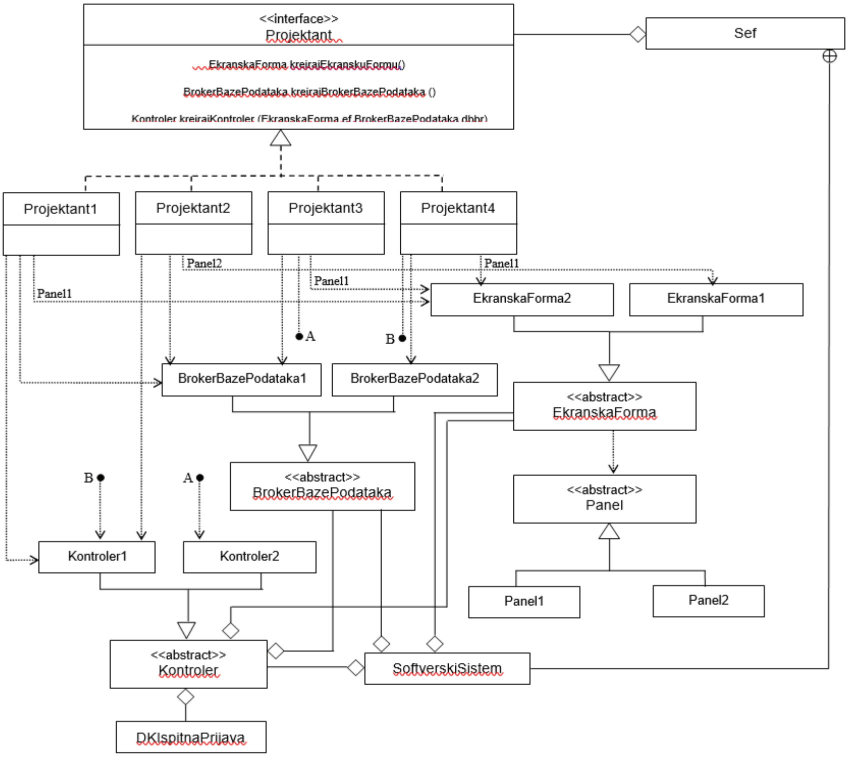
Предности примене Abstract Factory патерна представљају боља контрола над процесом креирања производа и једноставна промена одлуке о типу производа који ће бити креиран. Негативне последице примене овог патерна су ограниченост групе производа која може бити имплементирана и неједноставност додавања или измене функционалности унутар интерфејса.

## 7. ИНТЕГРАЦИЈА JAВA GUI ТЕХНОЛОГИЈА КОРИШЋЕЊЕМ ABSTRACT FACTORY ПАТЕРНА

Интеграција Јава GUI технологија коришћењем Abstract Factory патерна је реализова у студијском примеру који се бави обрадом пријава студената. Развијено је софтверско решење који се састоји из екранске форме, путем које корисник врши интеракцију са програмом, контролера апликационе логике и брокера базе податак. Архитектура софтверског система одваја визулену репрезентацију од логике реаговања на догађаје чиме је постигнута тронивојска архитектура.

Тронивојска архитектура апликације се састоји од:

- Корисничког интерфејса са пољима за приказ и прихват података о испитним пријавама;
- Апликациона логика реагује на догађаје покренуте ослушкивачима са екранске форме, повезујући кориснички интерфејс и складишти података;
- Складиште података садржи податке о испитним пријавама;

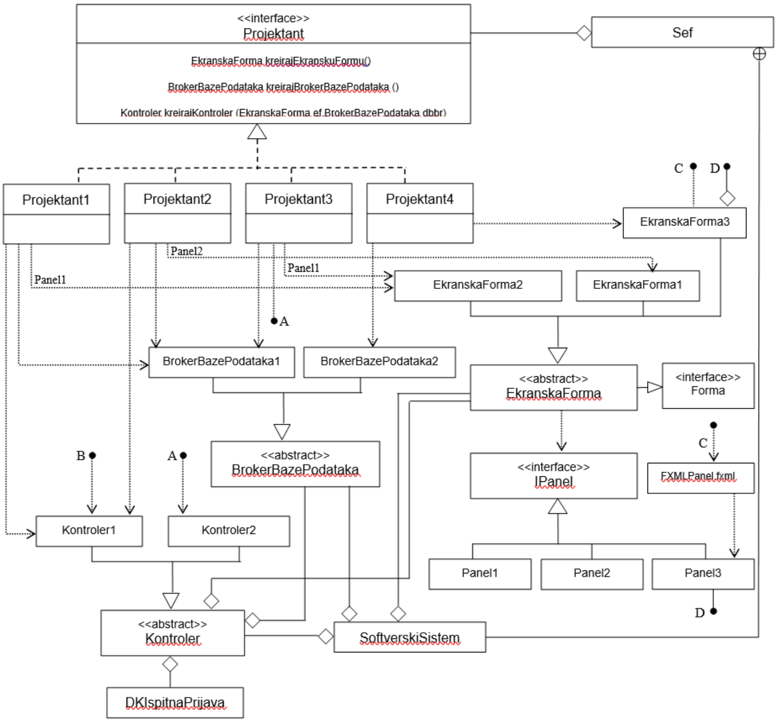


***Слика 4:*** *Дијаграм класа система – Swing GUI технологија*

Сходно чиниоцима софтверског система и опште структуре Abstract Factory патерна, креирана је структура са Слике 4.

Класа *Šef* аналогна је класи *Client* Abstract Factory патерна и одговорна је да иницира и надзире процес креирања сложеног производа. Сложен производ (*SoftverskiSistem*) се састоји од класа *EkranskaForma, Kontroler* и *BrokerBazePodataka*. Интерфејс *Projektant* одлучује која комбинација делова софтверског система ће бити креирана и одговара апстракцији *AbstractFactory* Abstract Factory патерна.

На почетку развоја софтверског система студијског примера коришћена је Swing GUI технологија (Слика 4). Одрживост и флексибилност структуре постигнута је увођењем апстракција и измештањем логике реаговања на догађаје у контролере (екранске форме дефинишу само модел корисничког интерфејса, не и понашање). Применом патерна неутралисана су места у програмском коду која су била тешка за коришћење, одржавање и надоградњу (места појаве "шпагети кода" [9]). Међусобном комуникацијом апстракција (*EkranskaForma* и *Kontroler*), постигнута је независност различитих имплементација екранских форми од контролера.



***Слика 5:*** *Дијаграм класа - Интегрисање GUI технолгија*

Наведена архитектура (Слика 4) је представљала основу за креирање нове архитектуре (Слика 5) у којој су интегрисане JavaFX и SWT технологије са Swing технологијом коришћењем Abstract Factory патерна пројектовања.

Прво је интегрисана JavaFX технологиј. Иако је постојећа структура ефикасна за додавање нове функционалности и/или компоненте, интеграција нове хетерогене технологије захтева прилагођавање постојеће архитектуре софтверског система. На местима где постоји разлика у имплементацији корисничког интерфејса, подигнут је ниво апстракције. Уместо апстрактних класа *Panel* и *EkranskaForma* уведени су интефејси *IPanel* и *Forma,* које уместо референце на класе пакета *javax.swing* садрже референцу на класу *Object* (Слика 5).

Део сложеног производа (*SoftverskiSistem*) који се односи на кориснички интерфејс обогаћен је новим класама које су имплементиране коришћењем JavaFX-а. *EkranskaForma3* садржи нит JavaFX апликације у оквиру које се учитава изглед екранске форме из FXML фајла. *Panel3* садржи FXML анотацију компоненти корисничког интерфејса.

Применом патерна и апстраховањем свих компоненети софтверског система, интегрисање SWT GUI технологије није захтевало ни једну измену у архитектури апликације. Кориснички интерфејс коришћењем SWT-а, имплементиран је у класама *EkranskaForma4* и *Panel4,* на врло једноставан начин. Класа *Panel4* представља *Shell* SWT апликације која дефинише компоненте које ће чинити екранску форму.

Тренутно радимо на интеграцији и Apach Pivot Јава технологије у наведену архитектуру апликације и очекујемо да ћемо и њу ускоро интегрисати.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Коришћење патерна пројектовања у развоју софтверских система омогућава да добијена архитектура софтверских система буде једноставна за надоградњу и одржавање. У овом раду показали смо како се може креирати архитектура софтверског система интеграцијом различитих Јавиних GUI технологија коришћењем Abstract Factory патерна. Овако добијена архитектура представља основу за њене даље интеграције са новим Јава GUI технологијама.

Правци даљег истраживања се односе на интеграцију наведене архитектуре, која тренутно подржава Јава десктоп GUI технологије, са Јава технологијама које су везане за Андроид и Веб апликације. Такође планирамо да наведену архитектуру искористимо као основу за имплементирање генератора програмског, који би на основу жељене технологије и изгледа екранских форми генерисао одговарајућу апликацију сходно дефинисаном захтеву.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Alexander, C., Ishikawa, S. и Silverstein, M. (1977). A pattern language: towns,buildings, construction, vol. 2. *Oxford University Press*.

[2] Apache Software Foundation, “Platform Overview”, [Online]. Доступно: https://pivot.apache.org/2.0.5/docs/api/ . [Приступљено: 6.6.2023.].

[3] Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. и Vlissides, J. (1995). Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. *Addison-Wesley*.

[4] Hatton, T. (2004). SWT: A Developer’s Notebook. *O’Reilly*.

[5] Liang, Y. D. (2009). JavaFx Basics: in Introduction To Java Programming, Comprehensive Version. *Pearson Education India*, 535-584.

[6] Sam-Bodden, B., M. Judd, C. (2004). Enterprise Java Developer on a Budget: Leveraging Java Open Source Technologies. *Apress,* 481-561.

[7] Schildt, H. (2014). Java The Complete Reference, Ninth Edition. *McGraw-Hill Education*, 1021-1105.

[8] Sharan, K. (2014). Beginning Java 8 APIs, Extensions and Libraries: Swing, JavaFx, JavaScript, JDBC and Network programming APIs. *Apress*.

[9] Vlajić, S. (2014). Softverski Paterni. *Zlatni Presek*.

[10] Vlajić, S., Savić, D., Stanojević, V., Antović, I. и Milić, M. (2008). Napredne Java tehnologije. *Zlatni presek*.

[11] Worner, R. и Harris, R. (2004). The definitive guide to SWT and Jface. *Apress*.

[12] cXiao, P. (2019). “Java programming for Windows Application,“ in Practical Java programming for IoT, AI, and Blockchain, 1st Edition. *John Wiley & Sons, Inc.,* 99-127.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА ТЕСТОВА СЛУЧАЈНОСТИ У ЕВАЛУАЦИЈИ МЕХАНИЗАМА ЗАШТИТЕ ПОДАТАКА У ОКРУЖЕЊИМА СА ОГРАНИЧЕНИМ РЕСУРСИМА

# USING RANDOMNESS TESTS FOR EVALUATION OF DATA SECURITY MECHANIZMS IN ENVIRONMENT WITH LIMITED RESOURCES

ДЕЈАН БАЈИЋ[1]

[1] Центар за примењену математику и електронику, Београд, strelacyu@yahoo.com

---

***Резиме:*** *Један од критеријума да се евалуира вредност блок шифарског алгоритма је демонстрација његове способности да генерише псеудослучајне бројеве, тј. да се излаз блок шифарског алгоритма применом статистичких тестова не може разликовати од стварно случајног извора. У овом раду се дефинише 8 сетова података који се генеришу са AEAD Ascon-128a алгоритмом у сврху тестирања са NIST пакетом статистичких тестова. Ови сетови података су изабрани јер се верује да су корисни у евалуацији квалитета блок шифарских алгоритама у AEAD моду рада.*

***Кључне речи:*** *Статистички тестови случајности, AEAD Lightweight крипто-алгоритам Ascon-128a, Генератори случајних бројева.*

***Abstract:*** *One of the criteria used to evaluate the block cipher algorithms was their demostrated suitability as random number generators. That is, the evaluation of their outputs utilizing statistical tests should not provide any means by which to computationally distinguish them from truly random sources. In this paper were defined 8 sets of data. These data sets were selected because it was believed that they would be useful in evaluating the randomness of cryptographic algorithms. These data sets* were *generated бy Ascon-128a cipher which provides authenticated encryption with associated data (AEAD) and hashing functionality.*

***Keywords:*** *Statistical tests of randomness, AEAD Lightweight ciphersuite Ascon-128a, Random number generators.*

---

## 1. УВОД

У свету постоји све већа потреба за "*Lightweight*" криптографијом која се користи у заштити података у уређајима који имају ограничене хардверске ресурсе у погледу процесорске снаге рачунања, меморије, потрошње батерије итд. Њен циљ је баланс између прихватљивих перфоманси, криптографске снаге и ограничених ресурса. Међу важним аспектима дизајна је смањена потрошња енергије, довољна брзина шифровања и мала величина чипа. Главне области примене ове криптографије су *RFID* системи и тагови, уређаји у здравственој нези, медицински уређаји, мреже сензора, ИоТ "*Internet of Things*" итд. Стандардна употреба блок шифре као што је *AEC* није прави избор за изузетно ограничено окружење. 2023 године Амерички национални институт за стандарде "*NIST*" је између више кандидата изабрао *AsconV1.2* пакет као "*Lightweight*" криптографски стандард. Он је победио у такмичењу за решење проблема криптографске заштите података у окружењу са лимитираним ресурсима. Такође победио је у "*CAESAR*" такмичењу за аутентификовану заштиту података.

Један од критеријума за избор кандидата за шифарски стандард је да јавни шифарски алгоритам покаже способност квалитетног генерисања случајних бројева, тј. да се излаз шифарског алгоритма применом статистичких тестова не може разликовати од стварно случајног извора. У поглављу два у овом раду је дефинисано 8 сетова података који су генерисани са *Ascon-128a* алгоритмом у сврху тестирања са *NIST* пакетом тестова и дат кратак опис параметара алгоритма.

У поглављу 3 је укратко описан *NIST* статистички пакет тестова за евалуацију квалитета генератора случајних бројева.

## 2. СЕТОВИ ПОДАТАКА ЗА ЕВАЛУАЦИЈУ *ASCON-128* КРИПТОАЛГОРИТМА

Шифарски пакет *Ascon v1.2* се користи у *AEAD* моду рада криптографске заштите са верификацијом аутентичности података $E(K;N;A;P) = (C;T)$

*E* представља операцију шифровања која као улазне податке користи главни тајни кључ *К*, јавни број поруке *N*, отворен текст *P* који се штити и придружене отворене податке *A* који се не шифрују, али се операцијом дешифровања може верификовати да придружени отворени подаци нису промењени. Јавни број поруке *N* игра улогу помоћног кључа “*nonce*” који се другој страни преноси отворено и за исти тајни кључ *К* мора се разликовати за сваку улазну поруку која се штити. То значи да се мења при сваком позиву шифровања и не сме се понављати док се не промени тајни кључ *К*.

Као резултат операције шифровања добија се шифрат *C* дужине једнаке дужини отвореног текста и аутентификациони таг *T* који се током операције дешифровања користи као провера да ни један од улазних података није модификован.

За статистичку анализу је изабран *Ascon-128a* [2,3]. члан фамилије *Ascon v1.2* пакета који користи 128 бита дужину кључа *К* и *N*, као и 128 битну дужину основног блока *P* отворених података који се штите. Придружени подаци нису коришћени за генерисање сетова података, тј, дужина придружених података *A* је постављена на 0. За генерисање сетова података није коришћен излаз таг *T*.

Дефинише се 8 сетова података који се генеришу са *Ascon-128a* криптоалгоритмом у сврху статистичког тестирања са НИСТ пакетом тестова. Ови сетови података су изабрани јер се верује да су корисни у евалуацији квалитета шифарских алгоритама. Као улаз у наменски развијен програм за генерисање сетова података уместо случајног низа је коришћен Блум- *Blum-Blum-Shub (BBS)* псеудослучајни генератор. Изабран је зато што је показано да је то криптографски сигуран генератор псеудослучајног низа [4]. Добијено је осам сетова података и на њима је извршено тестирање случајности.

Следи кратак опис сваког сета података.

### 2.1 “*128-bit Key Avalanche*”

Тестира се осетљивост испитиваног алгоритма на промене у 128 битном кључу, при чему се 128 битни помоћни кључ “*nonce*” фиксира на све бинарне 0. Анализира се 1000 бинарних секвенци по 1015808 бита. Бинарне секвенце су добијене следећим поступком: 128 битни улаз који се шифрује је фиксиран као све бинарне нуле. Као улаз у програм за генерисање излазне секвенце је 62000 блокова (главних кључева) дужине 128 бита добијених из неког квалитетног генератора случајног низа. Од сваког блока кључа од 128 бита се генерише 128 блокова излаза по 128 бита. Један 128 битни блок излаза се добија као логичка “*xor*” (ексклузивно или) операција примењена на шифрат добијен од оригиналног кључа и новог шифрата добијеног са измењеним главним кључем у једном биту тако што се инвертује само један бит оригиналног кључа на позицији у интервалу од 1 до 128 и уради шифровање. Ово се ради за сваку позицију бита од 1 до 128 у главном кључу и тако се укупно добије 62000 *128*128 бита података за статистичку анализу.

### 2.2 “*128-bit Nonce Avalanche*”

Тестира се осетљивост испитиваног алгоритма на промене у помоћном 128 битном “*nonce*” кључу, при чему се главни кључ фиксира на све бинарне 0. Анализирано је 1000 бинарних секвенци по 1015808 бита. Бинарне секвенце су добијене следећим поступком: 128 битни улаз који се шифрује је фиксиран као све бинарне нуле. Као улаз у програм за генерисање излазне секвенце је 62000 блокова (помоћних кључева “*nonce*”) дужине 128 бита добијених из неког квалитетног генератора случајног низа. Од сваког блока помоћног кључа “*nonce*” од 128 бита се операцијама шифровања генерише 128 блокова излаза по 128 бита. Један 128 битни блок излаза се добија као логичка “*xor*” операција примењена на шифрат добијен од оригиналног “nonce” помоћног кључа и новог шифрата добијеног са измењеним помоћним кључем у једном биту тако што се инвертује само један бит оригиналног помоћног кључа на позицији у интервалу од 1 до 128 и уради шифровање. Ово се ради за сваку позицију бита од 1 до 128 у “*nonce*” кључу и тако се укупно добије 62000 *128*128 бита података за статистичку анализу.

### 2.3 “*Plaintext/Ciphertext Correlation*”

Тестира се зависност парова отвореног и шифрованог текста. Анализирано је 1000 бинарних секвенци секвенци по 1048576 бита. За генерисање сваке од 1000 секвенци је употребљен различит бинарни кључ дужине 128 бита добијен из квалитетног генератора случајног низа и иста унапред припремљена секвенца отвореног текста дужине 8192 блока дужине по 128 бита. Сваки од 8192 блока дужине по 128 бита у једној секвенци се генерише операцијом шифровања уз помоћ једног главног кључа (добијеног из фајла са случајним бинарним низом) који се не мења и помоћног “*nonce*” кључа који се као 128 битни бројач увећава за 1 за сваки наредни блок који се генерише. Излазне бинарне секвенце су добијене спајањем 8192 блокова добијених применом логичке “*xor*” операције између шифрованог и отвореног блока података. Као излаз је добијен бинарни фајл укупне дужине 1000*1048576 бита погодан за статистичко тестирање.

### 2.4 “*Random Plaintext/Random 128 bit Keys*”

Тестира се случајност шифрата када су случајно изабрани и кључеви и отворен текст. Анализирано је 1000 бинарних секвенци секвенци по 1048576 бита. Помоћни “*nonce*” кључ је сетован на све бинарне нуле и коришћен за добијање свих генерисаних секвенци. За генерисање сваке од 1000 секвенци је употребљен различит главни кључ дужине 128 бита добијен из квалитетног генератора случајног низа и унапред припремљена случајна секвенца бинарног низа као отворени текст од 8192 блокова дужине по 128 бита. Бинарне секвенце дужине 1048576 бита су добијене спајањем 8192 блокова шифрата дужине 128 бита.

### 2.5 “*Low Density 128 bit Keys*”

Тестира се случајност шифрата од 1000 секвенци по 1056896 бита добијених на следећи начин. Свака секвенца се састоји се од 8257 блокова шифрата дужине 128 бита и за њено добијање се користи унапред припремљен фиксиран блок од 128 бита случајног отвореног текста. Овај блок отвореног текста је константан за једну секвенцу од 1056896 бита али је различит за сваку генерисану секвенцу јер се на почетку генерисања секвенце учитава из фајла са случајним низом. Помоћни “*nonce*” кључ од 128 бита бинарних нула је фиксиран за све генерисане блокове у свих 1000 секвенци. Први блок шифрата се добије шифровањем фиксираног улазног блока отвореног текста уз коришћење главног кључа од 128 бита бинарних нула. Блокове шифрата од 2 до 129 добијамо шифровањем фиксираног улазног блока уз модификовани кључ тако што се сетује по једна бинарна јединица за сваку позицију бита кључа од 1 до 128. Блокови 130-8257 се добијају шифровањем фиксираног улазног блока уз коришћење главних кључева који су комбинације бинарних нула и јединица уз услов да садрже две бинарне јединице и 126 бинарних нула.

### 2.6 “*High Density 128 bit Keys*”

Тестира се случајност шифрата од 1000 секвенци по 1056896 бита добијених на следећи начин. Свака секвенца се састоји се од 8257 блокова шифрата који су дужине 128 бита и за њено добијање се користи унапред припремљен фиксиран блок од 128 бита случајног отвореног текста. Овај блок отвореног текста је константан за једну секвенцу од 1056896 бита али је различит за сваку генерисану секвенцу јер се на почетку генерисања секвенце учитава из фајла са случајним низом. Помоћни “*nonce*” кључ од 128 бита бинарних нула је фиксиран за све генерисане блокове у свих 1000 секвенци. Први блок шифрата се добије шифровањем фиксираног улазног блока отвореног текста уз коришћење главног кључа од 128 бита бинарних јединица. Блокове шифрата од 2 до 129 добијамо шифровањем фиксираног улазног блока уз модификовани главни кључ тако што се стави по једна бинарна нула за сваку позицију бита кључа од 1 до 128. Блокови 130-8257 се добијају шифровањем фиксираног улазног блока уз коришћење главних кључева који су комбинације бинарних нула и јединица уз услов да садрже две бинарне нуле и 126 бинарних јединица.

### 2.7 “*Low Density 128 bit Nonce*”

Тестира се случајност шифрата од 1000 секвенци по 1056896 бита добијених на сличан начин као што је описано за “*Low Density 128 bit Keys*” сет података, али тако што главни и помоћни кључ замене улоге. То значи да је сада главни кључ од 128 бита бинарних нула фиксиран за све генерисане блокове у свих 1000 секвенци, а за генерисање шифрата излаза се варирају бити у помоћном “*nonce*” кључу од 128 бита на исти начин као што је било описано за главни кључ за “*Low Density 128 bit Keys*” сет података.

### 2.8 “*High Density 128 bit Nonce*”

Тестира се случајност шифрата од 1000 секвенци по 1056896 бита добијених на сличан начин као што је описано за “*High Density 128 bit Keys*” сет података, али тако што главни и помоћни кључ замене улоге. То значи да је сада главни кључ од 128 бита бинарних нула фиксиран за све генерисане блокове у свих 1000 секвенци, а за генерисање шифрата излаза се варирају бити у помоћном “*nonce*” кључу од 128 бита на исти начин као што је било описано за главни кључ за “*High Density 128 bit Keys*” сет података.

## 3. ТЕСТИРАЊЕ ГЕНЕРИСАНИХ СЕТОВА ПОДАТАКА СА НИСТ ПАКЕТОМ ТЕСТОВА

Над сваким од горе дефинисаних 8 сетова података је примењен НИСТ пакет тестова[1]. Овај пакет се састоји из 15 основних статистичких типова тестова који се са различито сетованим улазним параметрима могу посматрати и као 188 статистичких тестова. У табели 1 су дати основни статистички тестови и број $P$-вредности за сваки основни тип и идентификатор теста. Свака $P$-вредност одговара примени појединог статистичког теста на једну бинарну секвенцу.

**Табела 1 Списак тестова**

| Статистички тест | Број $P$-вредности | Статистички тест | Број $P$-вредности |
|---|---|---|---|
| *Frequency (Monobit)* | 1 | *Overlapping Template* | 1 |
| *Block frequency* | 1 | *Universal Statistical* | 1 |
| *Cumulative Sums* | 2 | *Aproximate Entropy* | 1 |
| *Runs* | 1 | *Random Excursion* | 8 |
| *LongestRun* | 1 | *Random Excursion variant* | 18 |
| *Binary Matrix Rank* | 1 | *Serial* | 2 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| *Spectral DFT* | 1 | *Linear Complexity* | 1 |
| *Non-overlapping Template* | 148 | | |

Детаљни приказ ових тестова се може пронаћи у *NIST* публикацији [2]. Пре стартовања статистичких тестова пакета уносе се улазни подаци као што су дужина секвенце, број секвенци, име улазног фајла са сетом података и параметри одређених тестова. Коришћени су дефаулт параметри за све тестове из пакета осим параметра "*block frequency block length*" који је постављен на вредност 10000 према упутству[1].

## 4. РЕЗУЛТАТИ ТЕСТИРАЊА

Тест случајности је обављен за сваки од 8 генерисаних сетова података на следећи начин:

1) Улазни параметри као што су дужина секвенце, величина узорка и ниво значајности $\alpha$ су постаљени на дужину секвенце дефинисаног сета, 1000 бинарних секвенци и 0.01 респективно. За сваку бинарну секвенцу и за сваки статистички тест је израчуната *P*-вредност.

2) За сваку израчунату *P*-вредност у зависности да ли је већа или мања од пре дефинисаног нивоа значајности се доноси одлука о успеху / неуспеху почетне хипотезе.

3) За сваки статистички тест и за сваки узорак су рађене две евалуације. Прво се израчуна пропорција бинарних секвенци које су прошле статистичке тестове. Користи се *P*-вредност за пропорцију бинарних секвенци које би требале проћи при нивоу значајности 0.01. *NIST* statистички пакет аутоматски одређује границе допуштених пропорција проласка статистичких тестова преко формуле (1) која је у ствари апроксимација биномне расподеле. У формули (1) m означава број секвенци и износи 1000, а $\alpha$ је 0.01.

$$(1-\alpha)\pm 3\sqrt{\frac{\alpha(1-\alpha)}{m}} \tag{1}$$

Након тога се још рачуна додатна *P*-вредност на бази $\chi^2$ теста (са 9 степени слободе) на основу *P*-вредности сваке секвенце у целом узорку да би се верификовала њихова униформност.

4) За обе мере у кораку (3) се доноси одлука. Сматра се да је узорак прошао статистички тест ако је задовољио истовремено мере пропорције и униформности. Ако је број одбијања превелик (пропорција успеха теста није у оквиру израчунатих граница) или додатна *P*-вредност у кораку (3) падне испод 0.0001 тада се сматра да је узорак сумњив (могуће да шифарски систем неће проћи тестирање). У супротном се сматра да је прошао тест. Ако се деси "сумњив - лош узорак", онда се ради тестирање на додатним узорцима генерисаним од стране тестираног шифарског система да би се детаљније проверило понашање. Граница за додатну *P*-вредност 0.0001 је изабрана на основу броја секвенци и величине узорка тј. 1 у 10000 неће дати превелики број одбацивања ако је генератор случајних бројева добар.

**Табела 2 Резултати тестирања дефинисаних сетова података са *NIST* пакетом тестова.**

| Датасет који је тестиран | Број тестова који су прошли границе допуштених пропорција | Број тестова који су прошли тест униформности |
|---|---|---|
| 2.1 *Key Avalanche* | 188 од 188 тестова | 188 од 188 тестова |
| 2.2 *Nonce Avalanche* | 188 од 188 тестова | 188 од 188 тестова |
| 2.3 *PlainCiph Correlation* | 188 од 188 тестова | 188 од 188 тестова |
| 2.4 *Random Plain/ Keys* | 188 од 188 тестова | 187 од 188 тестова |

| | | |
|---|---|---|
| 2.5 *Low Density Keys* | 186 од 188 тестова | 187 од 188 тестова |
| 2.6 *High Density Keys* | 187 од 188 тестова | 187 од 188 тестова |
| 2.7 *Low Density Nonce* | 188 од 188 тестова | 188 од 188 тестова |
| 2.8 *High DensityNonce* | 187 од 188 тестова | 188 од 188 тестова |

У табели 2 су приказани резултати тестирања са *NIST* пакетом тестова

С обзиром да сетови података “*Random Plaintext/Random 128 bit Keys*”, “*Low Density 128 bit Keys*”, “*High Density 128 bit Keys*” нису прошли по један тест униформности $\chi^2$ где је додатна *P*-вредност у *NIST* пакету јавних тестова подешена на 0.0001, то значи да ови подаци нису прошли тестирање што указује на могуће несавршености у конструкцији алгоритма или у самом тестирању, тако да постоји потреба за додатним тестирањима *Ascon-128a* крипто-алгоритма за јавно шифровање.

## 5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је описан метод тестирања јавног шифарског алгоритма Ascon-128a у *AEAD* моду рада са *NIST* пакетом статистичких тестова. У *AEAD* моду се нису користили придружени подаци јер се они не штите. У тесту криптографске заштите. *Ascon-128a* алгоритам је прошао свих 188 статистичких тестова за тест податке *Plaintext/Ciphertext Correlation, 128-bit Key Avalanche*, *128-bit Nonce Avalanche, Low Density 128 bit Nonce* . Постоји потреба за додатним тестирањима са већим скуповима података јер не пролази све *NIST* тестове.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] A. Rukhin, et. al., “A Statistical Test Suite for the Validation of Random and Pseudo Random Number Generators for Cryptographic Applications”, NIST Special Publication 800-22 Revision 1a,.April 2010

[2] Christoph Dobraunig, Maria Eichlseder, Florian Mendel, Martin Schläffer, Ascon v1.2 Submission to NIST,May 31, 2021

[3] Christoph Dobraunig, Maria Eichlseder, Florian Mendel, Martin Schläffer, Ascon v1.2 Submission to CAESAR Competition, September 15, 2016

[4] A. Meneses, P. Van Orschot and S. Vanstone, Handbook of Aplied Cryptography, CRC Press, 1997

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРЕДЛОГ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ ЗАШТИТЕ ОБЈЕКАТА УПОТРЕБОМ МУЛТИМОДАЛНИХ БИОМЕТРИЈСКИХ СИСТЕМА

# PROPOSAL FOR IMPROVING PROTECTION OF FACILITIES USING MULTIMODAL BIOMETRIC SYSTEMS

КРИСТИНА М. АТАНАЦКОВИЋ[1], РАДОВАН В. РАДОВАНОВИЋ[2]

[1] Министарство унутрашњих послова, Сектор за аналитику, телекомуникационе и информационе технологије, kristina.atanackovic@mup.gov.rs
[2] Криминалистичко-полицијски универзитет, Београд, radovan.radovanovic@kpu.edu.rs

---

***Резиме:*** *Континуирани развој информационо-комуникационих технологија донео је бројне предности, али је и омогућио настанак нових појавних облика криминалног понашања, што је захтевало континуирано унапређивања безбедносних механизама. Традиционални систем „браве и кључа“ више се не сматра довољно ефикасним за заштиту објеката, јер их потенцијални нападачи лако могу заобићи. То је довело до увођења и перманентног развоја напредних сигурносних система који користе биометријску технологију. Мултимодални биометријски системи се сматрају ултимативним решењем за приступ високо осигураним просторима, јер користе више биометријских карактеристика за аутентификацију идентитета корисника. Овим радом се предлаже употреба мултимодалних биометријских система за заштиту објеката.*

***Кључне речи:*** *биометријски системи, заштита објеката, контрола приступа, мултимодални биометријски системи, неауторизовани приступ.*

***Abstract:*** *The continuous development of information and communication technologies brought numerous advantages, but also enabled the emergence of new forms of criminal behavior, which required continuous improvement of security mechanisms. The traditional "lock and key" system is no longer considered effective enough to protect facilities, as potential attackers can easily bypass them. This led to the introduction and permanent development of advanced security systems that use biometric technology. Multimodal biometric systems are considered the ultimate solution for access to highly secured spaces, as they use multiple biometric features to authenticate the user's identity. This paper proposes the use of multimodal biometric systems for the protection of buildings.*

***Keywords:*** *biometric systems, object protection, access control, multibiometric systems, unauthorized access.*

---

## 1. УВОД

Посматрано са безбедносног аспекта, контрола приступа представља фундаментални безбедносни механизам, када је реч о обезбеђивању права приступа ауторизованим корисницима, као и у обезбеђивању адекватне заштите штићеног објекта од неовлашћеног приступа. У најширем смислу, за дефиницију контроле приступа могу се користити одговори на питања да ли и на који начин корисници могу приступити ресурсима у систему, било да се ради о приступу одређеној физичкој локацији (објекту), физичким уређајима или подацима.

Акције које чине безбедносне механизме су идентификација (енг.“*identification*”), аутентификација, односно провера идентитета (енг.“*authentication*”) и ауторизација (енг.“*authorization*”). Системи за идентификацију и аутентификацију служе за препознавање особа, односно за идентификацију и потврду идентитета, што корисницима даље омогућава да остваре своја права и/или обавезе. Потврђивање идентитета корисника одређеног система, могуће је извршити коришћењем метода заснованим на знању (нпр. лозинка), на основу поседовања предмета за потврду идентитета (нпр. паметна картица) и на основу јединствених биометријских карактеристика. Методе засноване на нечему што особа јесте, односе се на јединствене биометријске карактеристике особе и углавном су препознате као најпоузданије решење.

## 2. ЗАШТИТА ОБЈЕКАТА И КОНТРОЛА ПРИСТУПА

Историјски, развој људског друштва указује на то да је човек одувек имао потребу да предузима одређене мере и радње, како би се заштитио од потенцијалног угрожавања безбедности. Предмет угоржавања поред човека, могу бити имовина и пословање. Континуирани развој технологија омогућио је пројектовања и имплеметирања безебедносних мера на веома високом нивоу. Недовољно заштићена имовина, може постати предмет интересовања појединаца склоних нападима на недовољно обезбеђену имовину, на шта бројна истраживања указују. Поред ефикасне службе физичког обезбеђења, заштита имовине данас подразумева и употребу разноврсних система техничке заштите. Од система контроле приступа који се данас користе, захтева се имплементирање савремених технолошких иновација и софистицираних софтверских решења за постизање највећег могућег степена заштите. Циљ контроле приступа, пре свега заснива се на реализацији контроле кретања људи, према одређеним правилима, било да се ради о усмеравању кретања запослених унутар објекта или посетилаца објекта, али и реализацији строге безбедносне политике за контролу приступа штићеним просторијама.

Члан 29. Закона о приватном обезбеђењу [1] указује на то да се послови техничке заштите врше употребом техничких средстава и уређаја за спречавање противправних радњи према лицима и имовини, а нарочито за заштиту од:

- недозвољеног приступа у просторе и објекте који се обезбеђују;
- изношења, отуђења и неовлашћеног коришћења штићених предмета;
- уношења оружја и других опасних предмета и материја;
- провале, диверзије и насилног напада на објекат или одузимање предмета;
- неовлашћеног приступа подацима и документацији;
- заштиту возила за транспорт новца и других превозних средстава;
- других идентификованих ризика

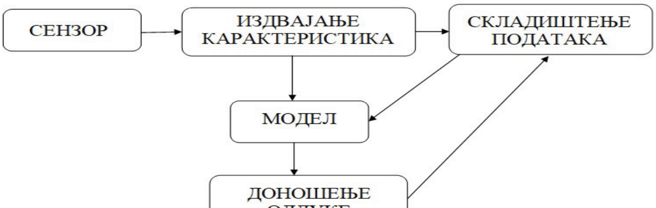
Заштита објеката и простора од неовлашћеног приступа представља сложен мултидисциплинарни процес који подразумева примену различитих техничких, организационих, физичко-техничких и других мера и активности које имају за циљ спречавање неовлашћеног приступа, откривање и спречавање покушаја неовлашћеног приступа, као и ефикасну реакцију у случају њиховог остварења. [2] Могућност коришћења савремених система техничке заштите значајно је повећала безбедност штићеног објекта. Према Радовановић и Благојевић [3] мере заштите подељене су у четири групе: грађевинско-урбанистичке мере, које обухватају грађевинско-архитектонске карактеристике објеката, уређење околног простора итд., организационе мере, које у начелу обухватају организацију службе обезбеђења, оперативне мере, које обухватају организацију прикупљања информација, надзор над простором који се штити и примену репресивних мера и поступака и техничке мере, које обухватају примену средстава и уређаја за откривање, идентификацију и сигнализацију нежељених догађаја.

## 3. БИОМЕТРИЈА - БИОМЕТРИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ И БИОМЕТРИЈСКИ СИСТЕМ

У стручној и научној литератури може се пронаћи више дефиниција биометрије, а карактеристичност тих дефиниција чини сагледавање биометрије као метода идентификације, заснован на биометријским карактеристикама особе. Да би се биолошке карактеристике квалификовале као биометријске, неопходно је да поседују следеће особине: универзалност (свака особа мора поседовати дату карактеристику), јединственост (карактеристика мора бити различита за читаву популацију), непромењивост (карактеристика не сме да се мења при различитим условима прикупљања или током времена). Карактеристика мора бити таква да јој се може приступити и мора бити мерљива.[4] Биометријске карактеристике особа, које се користе у биометријским системима идентификације и верификације, су јединствене анатомске, физиолошке, хемијске и понашајне карактеристика. Са становишта технологија које се користе у остваривању права приступа заштићеним ресурсима, биометрију сусрећемо у техникама провере права приступа при чему се ради аутоматскса провере идентитета коришћењем биометријских карактеристика особе. Овакви системи заснивају се на технологијама које анализирају биометријске карактеристике човека, где се узорци прикупљају помоћу одговарајућих сензора за аквизицију, затим дигитализују, софтверски обрађују и складиште у базама података. Биометријски системи, као крајњи, излазни резултат дају степен подударања репрезентованог податка са шаблоном сачуваним у бази података, на основу којег се у зависности од вредности постављеног прага, утврђује или потврђује прокламовани идентитет. [5]

Три најчешће метрике којима се процењују перформансе система су: стопа лажног прихватања ФАР (енгл. *„False Acception Rate“*), стопа лажног одбацивања ФРР (енгл. „*False Rejection Rate*“) и једнака стопа грешке ЕЕР (енгл. *„Equal Error Rate“*). Поред наведених грешака, може доћи до грешке приликом регистрације ФТЕ (eng. *„Failor to Enroll“*), као и грешка приликом процеса аквизиције ФТА (енгл. *„Failor to Acquire“*).

Гранична вредност, односно праг поређења, дефинише одлуку система у смислу прихватања или одбијања права приступа кориснику и одређује се у зависности од потреба потражиоца система. Висина прага представља компромис између употребљивости и сигурности система. Предности биометријских система за утврђивање и потврђивање идентитета особе су бројне, између осталог то су нижи административни трошкови, интегритет идентификације лица, интегритет информације, бржи приступ подацима, брже извршавање услуга и пружање помоћи, као и могућност добијања прецизнијих статистичких и истраживачких података, али и виши ниво сигурности. Знатно виши ниво сигурности оствариће се употребом две биометријске карактеристике у систему верификације.

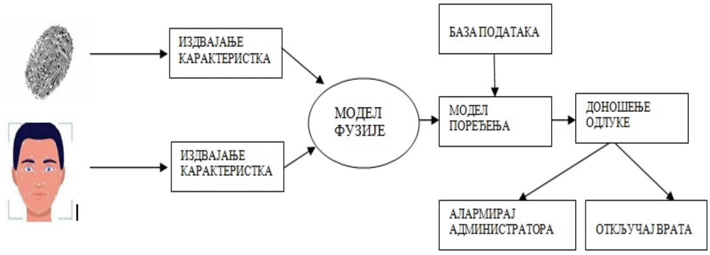


**Слика 1:** Шематски приказ општег модела биометријских система

## 4. МУЛТИМОДАЛНИ БИОМЕТРИЈСКИ СИСТЕМИ И МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ У КОНТРОЛИ ПРИСТУПА

Мултимодални биомтеријски системи су засновани на коришћењу биометријских карактеристика са више извора. Извори могу бити: више сензора (нпр. три камере снимају лице), више модалитета (нпр. ирис и отисак прста), више снимака исте биометријске карактеристике (нпр. више снимак истог ириса), више узорака исте биометријске карактеристике (нпр. узимање отисака два или више прста), више начина обраде истог биометријског податка. [6] Основа мултимодалних биометријских система је сједињавање информација, које се може грубо категорисати на: сједињавање пре поређења и сједињавање после поређења. Сједињавање пре поређења изводљиво је на нивоу сензора и на нивоу модула за издвајање обележја. Сједињавање после поређења изводљиво је на нивоу модула поређења и на нивоу доношења одлуке. Укључивање више модалитета захтева континуитет прикупљања и обраду података великом брзином узорковања, што може резултирати повећањем опсега рачунања и искоришћености меморије. Комбиновање вишеструких резултата, за потребе доношења одлуке о аутентификацији, захтева укључивање више модела или алгоритама за подударање ради генерисање коначног резултата. Већи број употребљених метода значи већу тачност, али и већи трошак. Перформансе система повезане су са квалитетом система за прикупљање узорака. Због непоузданог узорка карактеристике које би се могле добити из једне биометријске карактеристике, као и за превазилажење проузроковане деградације перформанси овим ограничењима, истраживачи су прешли са унимодалног на мултимодалне биометријске системе. Овакви системи постају све популарнији, јер се ослањају на више модалитета и дају више робуснијих и тачнијих резултата. Вилђиунити (енгл. „E. Vildjiounaite“) и сарадници предложили су комбинацију понашајних биометрија (хода и гласа) за повећање перформанси валидације корисника. [7]

Употреба мултимодалних биометријских система, обезбеђује постизање највећег степена заштите и тачности резултата приликом провере идентитета лица. Бројне истраживачке студије показале су успешно дизајниране биометријске системе за аутоматско упраљање вратима за контролу физичког приступа. Овакви системи су елиминисали изазове који се приписују ослањању на људску заштиту у контроли уласка у штићени објекат. Како је сам процес аутоматизован, овакви системи су препознати као сигурнији и ефикаснији у односу на друге. Један од начина за обједињавање у један биометријски систем за верификацију корисника може бити комбиновање препознавање лица корисника и отисака прстију. Перформансе оваквих система их чине ефикасним, јер се систем може конструисати тако да време поређења буде изузетно кратко. Централна фигура управљања оваквих система јесте администратор, односно особа која управља безбедносним функцијама система и одговорна је за надгледање различитих активности, регистрације и верификације појединаца, као и обезбеђивање приступа вратима у сваком тренутку било да систем одобри приступ или из неког разлога одбије ауторизованог корисника.



**Слика 2:** Шематски приказ процеса сједињавања података након издвајања карактеристика

Скупови карактеристика издвојени из различити биометријских модалитета, могу се спојити коришћењем специфичних алгоритама фузије, који формирају композитни скуп карактеристика који се прослеђују модулу за поређење.[8,9] Фузија након издвајања карактеристика представља издвајање корелираних обележја из различитих модалитета и њихово идентификовање као истакнути скуп карактеристика који могу побољшати тачност препознавања особе. Овај поступак се ради након нормализације, трансформације и редукције издвојених карактеристика. [10] Пример томе, јесте систем развијен 2004. године од стране Фенг (енгл. „G. Feng“) и сарадника, [11] који представља мултимодални биометријски систем заснован на нивоу препознавања отисака лица и длана. Користили су анализу главних компоненти (енг. „*Principal Component Analysis*“ ) и анализу независних компоненти (енг. „*Independent Component Analysis*“) као класификационе алгоритме. Стопа тачности заснована на анализи главних компоненти је била (70,83%, 85,83%) за лице, односно за отисак длана, док је износила 95,83% после фузије. Стопа тачности заснована на анализи независних компоненти била је (85%, 92,5%) за лице, односно за отисак длана, док је стопа тачности износила 99,17% након фузије. [12,13] Успешна примена мултимодалних биометријских система у заштити објеката може се огледати кроз интеграцију са системом видео надзора. На тај начин се може користити више технологија за препознавање лица, уз помоћ камера за снимање лица и анализу видео садржаја, што ће омогућити идентификацију више лица у реалном времену. Софтверски подсистем је део у коме је неопходно имплементирати већину функција система, укључујући управљачке хардверске интерфејсе, екстракцију јединствених карактеристика репрезента, базу података и процес усклађивања шаблона. Његова главна функција је у основи екстракција шаблона, складиштење стеченог шаблона у бази података као и подударање стеченог шаблона са ускладиштеним шаблоном у бази података. Предности употребе мултимодалних биометријских система огледају се у обезбеђивању вишег степена сигурности, остварујући уз то индивидуалну контролу и праћење активности, појединачно одобрење уласка у различита подручја, програмирани временски интервал приступа и евиденцију неовлашћених покушаја приступа.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Заштита објеката је одувек била битна активност, а у свету који се стално мења, безбедност објеката постаје један од водећих изазова. Коришћење мултимодалних биометријских система може бити изузетно корисно у унапређењу физичке и техничке заштите објеката, смањењу ризика од крађе, оштећења или неауторизованог приступа. Увођењем оваквих система, постижу се виши нивои сигурности и ефикасности, што помаже у заштити од могућих претњи. Данас се у цивилној употреби могу пронаћи различита решења за контролу електронских брава. Таква решења су најчешће имплементирана методама заснованим на знању и на основу предмета који особа поседује, те се често могу видети испред улазних врата објеката, уређаји за унос шифри  или за прислањање картица или токена. Са напретком технологије, традиционални системи контроле приступа који се ослањају на кључеве или предмете постали су мање ефикасни. Замена система „брава-кључ“ модернизованим системом контроле приступа, значајан је из бројних разлога: кључ се лако губи, не оставља траг и појединим старосним групама је теже баратати кључевима. Будући да кључ не оставља траг, свака особа која изради кључ у сваком моменту може приступити објекту. Немогуће је установити ко је и када посећивао објекат, уколико он није обезбеђен квалитетним системом видео надзора. Додатне предности инсталирања система контроле приступа заснованим на биометрији јесу: избацивање кључа из употребе, приступачна аналитика, обезбеђење имовине, превенција крађе и других нежељених активности. Веома важна карактеристика модерних система контроле приступа је могућност интеграције с другим хардверима и софтверима што омогућава аутоматзвану контролу каква јесте управљање вратима и другим врстама баријера, као и системом видео надзора, алармним системом, пожарним итд. Мултимодални биометријски системи данас имају значајну улогу у модерним друштвима у којима се тражи висок степен сигурности и заштите података. Они омогућавају бољу заштиту личних података и приватности, пружајући поузданији начин верификације идентитета, а тиме и повећавајући укупну сигурност система.

У банкарском сектору, мултимодални биометријски системи су кључни за спречавање превара и крађа идентитета, а такође могу помоћи у одржавању сигурности банкарских трансакција. У секторима као што су здравство и фармација, ови системи омогућавају бољу заштиту медицинских података, што може бити од велике важности за осетљиве информације о пацијентима. Мултимодални биометријски системи се такође користе на аеродромима, железничким и аутобуским станицама, као и на другим местима где се врши контрола приступа. Они омогућавају бржи и поузданији начин идентификације путника, што је важно за спречавање терористичких активности и других облика криминала. Данас, мултимодални биометријски системи играју кључну улогу у обезбеђивању сигурности у различитим секторима, пружајући висок степен прецизности и поузданости у идентификацији и верификацији људи.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Закон о приватном обезбеђењу, "Службени гласник РС", бр. 104/2013, 42/2015 и 87/2018.

[2] Благојевић, М., Радовановић, Р. (2022). Заштита објеката и простора од неовлашћеног приступа, Београд: *Криминалистичко-полицијски универзитет*

[3] Радовановић Р., Благојевић М. (2014). Системи физичко-техничке заштите, Београд: *Криминалистичко-полицијска академија*

[4] Perry R. Cook, (2002). Human Computer Interface Technology, *Biometrics Introduction and Issues, Princeton University*, Princeton, New Jersey, USA.

[5] Теодоровић С., Поповић Б. (2020). Увод у биометријске идентификације, Београд: *Криминалистичко-полицијски универзитет*

[6] H. AlMahafzah and M. Z. AlRwashdeh (2012). "A Survey of Multibiometric Systems," *International Journal of Computer Applications* vol. 43, no. 15, pp. 36-43.

[7] E. Vildjiounaite, S.-M. Makel ̈ a, M. Lindholm, R. Riihim , ̈ V. Kyllonen, J. Mantyjarvi, and H. Ailisto. (2006) “Unobtrusive multimodal biometrics for ensuring privacy and information security with personal devices,” in *International Conference on Pervasive Computing*. Springer pp. 187–201.

[8] G. Amirthalingam (2013). "A Multimodal Approach for Face and Ear Biometric System," International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), vol. 10, no. 5, pp. 234-241.

[9] M. Deriche (2008). "Trends and Challenges in Mono and Multi biometrics," presented at the Image Processing Theory, Tools and Applications, 2008. IPTA 2008. First Workshops on, Sousse pp. 1-9

[10] M. Monwar and M. L. Gavrilova (2009). "Multimodal Biometric System Using Rank-Level Fusion Approach," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*,, vol. 39, no. 4, pp. 867-878.

[11] G. Feng, K. Dong, D. Hu, and D. Zhang (2004). "When Faces are Combined With Palmprints: A novel Biometric Fusion Strategy," presented at the *In proc. of 1st Int. Conf. on Biometric authentication*, Hong Kong, China, pp. 701-707.

[12] F. Anwar, M. A. Rahman, and S. Azad, (2009). "Multibiometric Systems Based Verification Technique," *European J. Scientific Research,* vol. 34, no. 2, pp. 260-270.

[13] S. Kalra and A. Lamba (2014). "Improving Performance by Combining Fingerprint and Iris in Multimodal Biometric," *International Journal of Computer Science & Information Technologies*, vol. 5, no. 3, pp. 4522- 4525.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПОДРШКА ЗА JSON ФОРМАТ У РЕЛАЦИОНИМ БАЗАМА ПОДАТАКА

# SUPPORT FOR JSON FORMAT IN RELATIONAL DATABASES

НАСТАСЈА БАКОВИЋ, САША ЛАЗАРЕВИЋ, ТАТЈАНА СТОЈАНОВИЋ

Факултет организационих наука, Јове Илића 154, Београд 11000

***Резиме:*** *У раду се истражује како релационе базе података могу подржати JSON формат, који омогућава флексибилно складиштење, претраживање и манипулацију структурираним подацима. Циљ рада је пружити преглед подршке за JSON формат у различитим система управљања базама података, али с посебним нагласком на могућности и функционалности које нуди MS SQL Server.*

***Кључне речи:*** *JSON, релациона база података, MS SQL Server, СУБП;*

***Abstract:*** *This research explores how relational databases can support the JSON format, which allows flexible storage, retrieval, and manipulation of structured data. The aim of the paper is to provide an overview of support for the JSON format in various database management systems, but with special emphasis on the capabilities and functionality offered by MS SQL Server.*

***Keywords:*** *JSON, relational database; MS SQL Server; DBMS;*

## 1. ОПИС ПРЕДМЕТА И ЦИЉА ИСТРАЖИВАЊА

Најчешће коришћена врста базе података у софтверском развоју је релациона база података. Релационе базе користе *SQL* (*Structured Query Language*) као језик за манипулацију подацима, и дизајниране су за складиштење структурираних података. Структурирани подаци се односе на податке који имају дефинисану структуру и релације између њих су јасно дефинисане. Међутим, у последњих неколико година све чешће се користе неструктуриране базе података, попут *NoSQL* и *JSON* база података. Оне су дизајниране за рад са неструктурираним и полуструктурираним подацима, што их чини погодним за апликације које генеришу велике количине података са сложеном или са промењивом структуром.

Током истраживања, биће представљен теоријски оквир *JSON* формата, *JSON* шеме и хипершеме, као и алати и технологије које омогућавају коришћење *JSON* формата у домену релационе базе података, манипулацију подацима у *JSON* формату и конверзију података из других формата у *JSON* формат.

Циљ истраживања је дубље разумевање могућности и функционалности које се пружају кроз подршку за *JSON* формат у релационим базама података, посебно кроз призму *MS SQL Server*-а. Кроз темељну анализу, рад ће истражити како релационе базе података могу интегрисати *JSON* податке, обезбеђујући флексибилно складиштење и ефикасно управљање њима. Биће разматрани различити аспекти, укључујући структурирање *JSON* података, индексирање, претраживање и манипулацију подацима путем *SQL* упита.

Кроз дубље разумевање подршке за *JSON* формат у релационим базама података, истраживање ће пружити практичне користи за инжењере база података и развојне тимове. На тај начин, рад ће допринети бољем разумевању како искористити предности *JSON* формата и прилагодити га потребама апликација заснованих на релационим базама података.

## 2. ПРЕГЛЕД ТЕОРИЈСКИХ КОНЦЕПАТА

У овом поглављу биће представљени кључни теоријски концепти технологија којима ћемо се служити.

### JSON тип података

*JSON* је једноставан, текстуални формат, првенствено дизајниран за размену података у облику који је интуитиван и лако читљив, како човеку, тако и машинама, односно, рачунарима. Развијен је од стране Дагласа Крокфорда (енгл. *Douglas Crockford*). Заснован је на подскупу стандарда *JavaScript* програмског језика *ECMA*-262 3. издање, из децембра 1999. године. Независтан је од програмског језика са којим се употребљава (иако користи конвенције које су прилично блиске синтакси *C* програмског језика). Ова својства га чине идеалним за размену података. [1]

Пре појаве *JSON*-а, за пренос података у веб апликацијама се користио *XML* формат, међутим, *XML* поруке су често биле преопширне и захтевале су више меморије, па су заузимале пуно пропусног опсега приликом слања података преко мреже. [7]

*JSON* је стринг чији формат подсећа на литерални формат *JavaScript* објеката. *JSON* подржава шест типова објеката – стринг, број, *bool*, низ, објекат и *null*, што нам омогућава да користимо исте основне типове података унутар *JSON* објекта као и у стандардном *JavaScript* објекту. Ако бисмо учитали *JSON* стринг у *JavaScript* програм, могли бисмо да приступимо подацима унутар њега користећи исту нотацију тачка/заграда као и када би радили са *JavaScript* објектом. [4]

### Релациони тип података

Релациона база података складишти и омогућава приступ подацима који су међусобно повезани. Заснивају на релационом моделу, који је интуитиван и једноставан начин представљања података у табелама. Сваки ред у табели је запис са јединственим *ID*-јем који се назива кључ. Колоне табеле садрже атрибуте података, и сваки запис има вредност за сваки атрибут, што олакшава успостављање веза међу подацима. [10]

Релациони модел подразумева да су логичке структуре података - табеле, прикази и индекси - одвојене од физичких структура складиштења. Ова одвојеност значи да администратори базе података могу управљати физичким складиштењем података без утицаја на приступ тим подацима као логичкој структури. Разлика између логичких и физичких структура такође се односи на операције над базом података. [10]

Заслугу за широку употребу релационих база има структурирани упитни језик SQL. Заснован на релационој алгебри, SQL пружа интерну доследну математичку структуру која олакшава побољшање перформанси упита над базом података. [10]

Четири кључна својства дефинишу трансакције у релационим базама података:

- Атомност дефинише све елементе који чине комплетну трансакцију. Ако један део не успе, цела трансакција се поништава, а подаци остају непромењени.
- Конзистентност осигурава да само исправни подаци улазе у базу података, а да се лоши подаци одбацују.
- Изолација осигурава да једна трансакција не утиче на друге трансакције, односно, уколико се извршава више трансакција паралелено, резултата мора бити исти као да су се одвијале једна после друге.
- Трајност осигурава да се извршене промене одржавају чак и ако се систем прекине или опорави. [9]

Релациони системи за управљање базама података пружају ова *ACID* својства, чинећи их поузданима за критичне пословне операције и системски критичне апликације. [10]

## 3. ПОДРШКА ЗА JSON ФОРМАТ У РЕЛАЦИОНИМ СУБП-ОВИМА

Подршка за *JSON* формат у релационим системима за управљање базом података представља важну тему у домену модерног развоја софтвера. *JSON* је популаран формат за размену података који се често користи у веб апликацијама и сервисима. С друге стране, релациони системи за управљање базом података (СУБП) су темељ традиционалних, структурираних система за складиштење и манипулацију подацима.

Постоји неколико кључних система који пружају подршку за *JSON*, *укључујући MS SQL Server, PostgreSQL* и *MySQL*. Сваки од ових система има своје специфичности и карактеристике у вези са руковањем *JSON* подацима. Међутим, посебан нагласак стављамо на MS SQL Server и његову подршку за *JSON* формат. *MS SQL Server* је од верзије 2016. увео подршку за *JSON* и пружа интегрисане алате за складиштење, претрагу и манипулацију *JSON* подацима унутар релационе структуре.

### Подршка за JSON формат у MS SQL Server-у

Пошто је у питању текстуални стандард, свака функција или компонента *SQL Server*-а, која подржава рад са текстом, подржава и рад са подацима у *JSON* формату. *SQL Server* има и изворне *JSON* функције које омогућавају анализу *JSON* документа помоћу стандардног *SQL* језика. [9]

Постоје два начина складиштења JSON документа у табелама:

- *LOB* складиште – *JSON* документи се могу чувати такви какви јесу у *NVARCHAR* колонама. Ово је најбољи начин за брзо учитавање и унос података јер брзина учитавања одговара учитавању колона низа. Са друге стране, овај приступ може да узрокује смањење перформанси, односно, повећање времена вршења упита/анализе ако JSON вредности нису индексиране, јер се необрађени *JSON* документи морају рашчланити током вршења упита. [9]
- Релациона меморија – *JSON* документи се могу рашчланити док се убацују у табелу помоћу одређених функција. Фрагменти *JSON* докумената могу се чувати у колонама *SQL* или *NVARCHAR* типа података, и оне садрже *JSON* поделементе. Овај приступ повећава време учитавања јер се *JSON* рашчлањивање врши током учитавања; међутим, упити се подударају са перформансама класичних упита на релационим подацима. [9]

### Конверзија података из JSON формата у SQL табелу

*MS SQL Server* омогућава конверзију података из JSON формата у SQL табелу помоћу функција:

- *OPENJSON* (*@jsonExpression*, *path*)
- *JSON_VALUE* (*@jsonExpression*, *path*)

*OPENJSON* функција парсира *JSON* који је наведен као први аргумент и враћа један или више редова табеле који садрже податке *JSON* објекта. Један *JSON* објекат представљен је као један ред у табели, а сваки његов атрибут као колона табеле. Како *JSON* објекат може садржати и угњеждене објекте, уколико је потребно и подобјекте преписати у *SQL* табелу, путања до подобјеката ће бити други аргумент *OPENJSON* функције. [6]

По документацији, функција *OPENJSON* враћа 3 колоне - кључ, вредност и тип сваког пара кључ:вредност који се налази у прослеђеном аргументу jsonExpression. Ако желимо експлицитно дефинисати шему резултујуће табеле, користићемо *WITH* клаузулу која садржи листу колона које враћамо са *OPENJSON* функцијом, са њиховим типовима податка. [6]

Уместо *WITH* klauzule, за дефинисање шеме табеле можемо да користимо и *JSON_VALUE* функцију за селектовање вредности *JSON* објекта. Ова функција враћа скаларну вредност која се налази на прослеђеној путањи *JSON* објекта. Први аргумент представља назив променљиве или колоне табеле која садржи *JSON* стринг. Други аргумент јесте сама путања на којој се налази својство или објекат. Уколико се функцији *JSON_VALUE* проследи променљива или колона табеле које не садрже *JSON* стринг или он није у валидном формату, функција враћа грешку. [5]

Како бисмо, пре него што позвамо функцију, проверили да ли се ради о *JSON* стрингу и да ли је он у исправном формату, претходно позивамо функцију *ISJSON* и прослеђујемо јој променљиву или колону табеле. Уколико је стринг правилно форматиран, функција враћа int вредност 1, у супротном враћа вредност 0. [5]

## Конверзија података из SQL табеле у JSON формат

За потребе конвертовања података из *SQL* табеле у *JSON* формат *MS SQL Server* поседује *FOR JSON* функцију. [8]

*FOR JSON* функција служи за конверзију података из *SQL* табеле у *JSON* формат. Користи имена колона или њихове псеудониме као имена атрибута *JSON* објекта. Постоје две опције ове функције:

- *AUTO* користи аутоматско форматирање *JSON* излаза на основу структуре наредбе *SELECT*
- *PATH* која даје потпуну контролу над форматом *JSON* излаза, што је посебно значајно код селекције угњеждених објеката [8]

Ниједна од ове две опције није дифолтна, тако да је неопходно у оба случаја експлицитно навести коју опцију желимо да користимо. [8]

## Манипулација подацима у JSON формату

Функције намењене манипулацији учитаним *JSON* подацима:

- *JSON_MODIFY* (*@jsonExpression* , *path* , *newValue* )
- *JSON_QUERY*(*@jsonExpression*, *path*)

*JSON_MODIFY* функција ажурира вредност својства унутар прослеђеног *JSON* стринга и враћа тако ажурирани *JSON* стринг као *NVARCHAR* тип податка. У потпису ове функције, *jsonExpression* представља *JSON* документ, *path* путању на којој се налази својство над којим вршимо измене, а *newValue* нову вредност коју додељујемо својству на које нас упућује *path*. Вредност *newValue* мора бити или *NVARCHAR* или *TEXT* типа податка. [2]

Поред саме путање, можемо прецизније дефинисати начин на који ће функција *JSON_MODIFY* вршити измене над подацима додавањем једне од опција:

- *append* – нова вредност се додаје (лепи) низу на који упућује *path*, уместо да се убаци уместо вредности на коју циља *path*
- *lax* – својство на који упућује *path* не мора да постоји, односно, уколико својство не постоји, *JSON_MODIFY* ће покушати да убаци нови пар кључ:вредност на путању дефинисану у *path* параметру.
- *strict* – својство на који упућује path мора да постоји у *JSON* изразу. Уколико то није случај, функција *JSON_MODIFY* враћа грешку. [2]

**Табела 1:** Понашање функције *JSON_MODIFY* у зависности од мода

| **вредност која се прослеђује** | **путања постоји?** | **lax** | **strict** |
|---|---|---|---|
| **NULL** | да | Обрисаће се постојећи пар кључ:вредност на који упућује прослеђена путања | Својству на које упућује прослеђена путања ће бити додељена вредност NULL |
| **NULL** | не | Неће се извршити никаква промена над JSON документом. | Функција враћа грешку INVALID_PROPERTY |
| **Различито** | да | Својсту на које упућује | Својсту на које упућује |

| **вредност која се прослеђује** | **путања постоји?** | **lax** | **strict** |
|---|---|---|---|
| **од NULL** | | прослеђена путања ће бити ажурирана вредност, однсно, додељена нова вредност | прослеђена путања ће бити ажурирана вредност, однсно, додељена нова вредност |
| **Различито од NULL** | не | Функција ће покушати да креира нови пар кључ:вредност на путањи која је прослеђена. | Функција враћа грешку INVALID_PROPERTY |

*JSON_QUERY* функција служи за селекцију података из прослеђеног *JSON* документа, што могу бити објекат или низ који се налазе на прослеђеној путањи, и такође има два мода – *lax* и *strict*. [3]

Битно је напоменути, пошто се некад *JSON_QUERY* и *JSON_VALUE* функције могу употребити за исту намену, да иако наизглед враћају исти резултат, постоје разлике у типу податка повратне вредности и њиховом понашању у зависности од тога са којим функцијама се комбинује њихова употреба. Пре свега, функција *JSON_VALUE* као повратни тип има скаларну вредност, односно, појединачну текстуалну вредност типа *nvarchar*(4000), док *JSON_QUERY* враћа објекат или низ, односно, *JSON* фрагмент типа *nvarchar*(4000). [3]

Уколико узмемо следећи *JSON* документ као једноставан пример:

```
{
        "a": "[1,2]",
    "b": [1, 2],
    "c": "hi"
}
```

у следећој табели су приказани резултати употребе *JSON_QUERY* и *JSON_VALUE* функције, у зависности од прослеђене путање. [3]

**Табела 2:** Резултати употребе *JSON_QUERY* и *JSON_VALUE* функције, у зависности од путање

| **путања** | **JSON_VALUE** | **JSON_QUERY** |
|---|---|---|
| **$** | NULL ili greška | { "a": "[1,2]", "b": [1,2], "c":"hi"} |
| **$.a** | [1,2] | NULL ili greška |
| **$.b** | NULL ili greška | [1,2] |
| **$.b[0]** | 1 | NULL ili greška |
| **$.c** | hi | NULL ili greška |

## 4. ЗАКЉУЧАК

*MS SQL Server* је један од система који има подршку за *JSON* формат. Имплементација ове подршке укључује постојање уграђеног *JSON* типа података, као и разноврсних функција и операција специфичних за *JSON*.

На основу могућности које *SQL Server* пружа за *JSON*, може се закључити да задовољава основне критеријуме за манипулацију *JSON* подацима. Једна од кључних предности *SQL Servera* је његова способност извођења комплексних упита над *JSON* подацима. Кроз интеграцију са *T-SQL* језиком, корисници могу писати моћне *SQL* упите за филтрирање, спајање и анализу *JSON* документа. Осим тога, *SQL Server* пружа подршку за индексирање

*JSON* података, што може побољшати перформансе претраге и упита над великим скуповима података.

Увођење подршке за *JSON* формат у *SQL Server*-у омогућило је флексибилност у обради полу-структурираних података, ефикасност у управљању и анализи података и могућност динамичког моделовања података без потребе за променом шеме базе. За креирање веб апликације са динамичким формама, уместо дефинисања фиксне шеме за сваки образац у релационом моделу базе података, користимо колону са *JSON* типом података у *SQL Server*-у. То омогућава да динамичко складиштење и управљање структуром образаца у *JSON* формату, без потребе за променом шеме базе података сваки пут када се форме мењају. У апликацијама које производе велику количину логова, *JSON* формат се често користи за представљање и складиштење података. Користећи колону са *JSON* типом података у *SQL Server*-у, могу се ефикасно складиштити и анализирати логови. Такође, користећи *JSON* подршку у *MS SQL Server*-у, могу се лако чувати и мењати конфигурационе подаци. На пример, може се креирати табела са колоном *JSON* типа података која садржи различите конфигурационе податке, као што су параметри базе података, поставке сервиса или опције корисничког интерфејса.

Међутим, упркос својим функционалностима, подршка *SQL Servera* за *JSON* може бити предмет унапређења и додатака у будућим верзијама. На пример, тренутна подршка за *JSON* у *SQL Server*-у нема подршку за валидацију *JSON* докумената према *JSON* шеми. Ова функционалност била би корисна за гарантовање интегритета и валидности *JSON* података унутар базе.

Такође, *SQL Server* би могао побољшати подршку за индексирање комплексних *JSON* структура, као што су низови и угњежђени објекти. Додатне функционалности за претрагу, индексирање и упите над овим структурама могу унапредити перформансе и флексибилност манипулације *JSON* подацима.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Introducing JSON. https://www.json.org/json-en.html [Последњи приступ: 23.05. 2023.]

[2] JSON_MODIFY (Transact-SQL). Microsoft Docs. https://docs.microsoft.com/en-us/sql/t-sql/functions/json-modify-transact-sql [Последњи приступ 27.05.2023. ]

[3] JSON_QUERY (Transact-SQL). Microsoft Docs. https://docs.microsoft.com/en-us/sql/t-sql/functions/json-query-transact-sql [Последњи приступ 27.05.2023.]

[4] JSON structure. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/JavaScript/Objects/JSON [Последњи приступ: 24.05. 2023.]

[5] JSON_VALUE. Microsoft Docs. https://learn.microsoft.com/en-us/sql/t-sql/functions/json-value-transact-sql?view=sql-server-ver16 [Последњи приступ 27.05.2023.]

[6] OPENJSON (Transact-SQL). Microsoft Docs. https://docs.microsoft.com/en-us/sql/t-sql/functions/openjson-transact-sql [Последњи приступ 27.05.2023.]

[7] Srinivas Sriparasa, S. (2013). JavaScript and JSON Essentials. Packt Publishing

[8] Trivedi, J. (05.03.2022.) Working with JSON in SQL Server. C# corner. https://www.c-sharpcorner.com/article/working-with-json-in-sql-server-2016 [Последњи приступ 27.05.2023.]

[9] Validate, Query, and Change JSON Data with Built-in Functions (SQL Server). Microsoft Docs. https://docs.microsoft.com/en-us/sql/relational-databases/json/validate-query-and-change-json-data-with-built-in-functions-sql-server [Последњи приступ 25.05.2023.]

[10] What is a Relational Database (RDBMS)?. https://www.oracle.com/database/what-is-a-relational-database/ [Последњи приступ 25.05.2023.]

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# INFRASTRUKTURA JAVNIH KLJUČEVA EVROPSKIH ZEMALJA

# PUBLIC KEY INFRASTRUCTURE OF EUROPEAN COUNTRIES

NIKOLA SLAVKOVIĆ[1], KATARINA MILJKOVIĆ[1], RADOMIR PRODANOVIĆ[1], DARKO GRUBAČ[1], BRANKO VUJATOVIĆ[1]

[1] Centar za primenjenu matematiku i elektroniku, Beograd, nikola.slavkovic@vs.rs, katarina.miljkovic@vs.rs, radomir.prodanovic@vs.rs, darko.grubac@vs.rs, branko.vujatovic@vs.rs

---

***Rezime:*** *Danas, jedan od najvećih problema Interneta je bezbedan prenos poverljivih podataka. Republika Srbija i druge evropske zemlje koriste Infrastrukturu javnih ključeva kao deo rešenja problema zaštite podataka. U radu autori porede PKI evropskih zemalja i PKI R. Srbije na osnovu sledećih parametara: lanac poverenja, dužina ključeva, korišćeni kriptografski algoritmi, broj pružalaca usluga od poverenja i upotreba sertifikata, sa ciljem sagledavanja i unapređenja dostignića PKI u Srbiji u odnosu na PKI evropskih zemalja.*

***Ključne reči:*** *bezbednost, PKI, sertifikat, dužina ključa, sertifikaciono telo.*

***Abstract:*** *Today, one of the biggest problems of the internet is secure transmission of confidential data. The Republic of Serbia and other European countries use Public Key Infrastructure as part of the solution for data protection. In the paper, the authors compare the PKI of European countries and the PKI of the Republic of Serbia based on the following parameters: chain of trust, key length, used cryptographic algorithms, number of trusted service providers and use of certificates, with the aim of reviewing and improving the achievements of the PKI in Serbia compared to the European PKI countries.*

***Keywords:*** *security, PKI, certificate, key length, certification authority.*

---

## 1. UVOD

Sertifikaciona tela (Certification Authority, CA) igraju ključnu ulogu u proveri identiteta i zaštiti integriteta i autentičnosti digitalnih podataka. Evropska unija (EU) je usvojila uredbu eIDAS (Electronic Identification and Trust Services) [1] koja propisuje standarde za elektronske identitete i usluge od poverenja u svim zemljama EU. U okviru ove uredbe, sertifikaciona tela su od vitalnog značaja za elektronske potpise, pečate i sertifikate. Infrastruktura javnih ključeva (Public Key Infrastructure, PKI) je važan aspekt bezbednosti i privatnosti u digitalnom dobu. U okviru EU, u različitim zemljama se razvijaju različite PKI infrastrukture, sa različitim dužinama ključeva, korišćenim kriptografskim algoritmima, namenama sertifikata, lancima poverenja i drugim parametrima.

Uvođenje PKI infrastrukture je kompleksan proces koji zahteva značajne finansijske resurse za nabavku tehnologije, obuku osoblja i održavanje, kao i tehničke kapacitete i političku volju. U ovom radu, fokus će biti na PKI evropskih zemalja koje su bile spremne da se suoče sa izazovima kao što su primenljivost savremenih tehnoloških resursa, adekvatna mrežna infrastruktura i stručnosti u oblasti informacionih tehnologija, uključujući i Republiku Srbiju.

Sa ciljem da se istaknu prednosti i nedostaci u odnosu na PKI infrastrukturu u Republici Srbiji, kao i dalji pravci za unapređenje biće izvršena komparativna analiza izabranih PKI arhitektura na osnovu različitih parametara kao što su: lanac poverenja, dužina ključeva, korišćeni kriptografski algoritmi, broj pružalaca usluga od poverenja i upotreba sertifikata.

U radu je izvršena analiza PKI Nemačke, Italije, Francuske, Finske, Estonije i Republike Srbije. Izvršeno je poređenje dobijenih rezultata sa PKI Republike Srbije. Autori rada daju predlog mera za unapređenje PKI infrastrukture Republike Srbije i njeno usklađivanje sa standardima EU.

## 2. RANIJI RADOVI

Povezani radovi objavljeni u Republici Srbiji uglavnom su se bavili komparativnom analizom kvalifikovanih pružalaca usluga od poverenja, dok su strani autori analizirali moguće modele lanaca poverenja.

U radu [2] autori porede sertifikaciona tela u R. Srbiji sa aspekt arhitektura, kriptografskog materijala, vrsta sertifikata i njihove validnosti. Cilj autora je da se na jednom mestu pruži dovoljno informacija zainteresovanim stranama da izaberu najpovoljnije sertifikaciono telo za svoje potrebe.

Autori rada [3] daju pregled registrovanih sertifikacionih tela u Republici Srbiji koja izdaju kvalifikovane elektronske sertifikate. Analiziraju dužine asimetričnih ključava (privatni i javni ključ) sertifikacionih tela i vlasnika kvalifikovanog elektronskog sertifikata, kao i poređenje sa tadašnjim preporukama i standardima.

U radu autori [4] daju pregled različitih PKI modela poverenja koje analiziraju i porede kako bi dali dovoljno informacija o izboru najboljeg modela za primenu u elektronskim servisima.

Autori rada [5] analiziraju PKI kroz dve analize. Prva analiza je mikro-analiza u kojoj sagledavaju unutrašnje faktore koji utiču na PKI, kao što su hardver i softver, sistem za implementaciju bezbednosti, kao i strane potrebne za usvajanje PKI. U drugoj analizi, makro-analiza, analiziraju spoljašnje faktore na koje je sistem uticao i kako spoljašnji faktori utiču na usvajanje PKI sistema.

## 3. INFRASTRUKTURA JAVNIH KLJUČEVA EVROPSKIH ZEMALJA

### 3.1. Infrastruktura javnih ključeva u Nemačkoj

U Nemačkoj je veliki broj kompanija u različitim industrijskim sektorima uspostavilo PKI sisteme da bi svojim zaposlenima omogućilo elektronsko potpisivanje. U Nemačkoj postoji 13 akreditovanih kvalifikovanih pružalaca usluga od poverenja [6].

Bundesnetzagentur (Savezna agencija mreža) [7] vrši akreditaciju pružalaca usluga od poverenja čime se dokazuje da provajderi ispunjavaju propisane tehničke, administrativne i bezbednosne usluge i predstavlja najveću tačku poverenja koja garantuje pouzdanost svojih akreditovanih provajdera.

Nemačka je jedna od vodećih evropskih zemalja u razvoju PKI infrastrukture. Dužina ključeva se uglavnom kreće od 2048 do 4096 bita. Lanac poverenja uključuje federalne i regionalne sertifikacione autoritete, kao i nezavisne treće strane. Kriptografski algoritimi koji se koriste u Nemačkoj uključuju RSA, ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm) i SHA-2. Sertifikati se najčešće koriste za digitalni potpis i autentikaciju korisnika.

Oružane snage Nemačke (Bundeswehr) imaju Infrastrukturu javnog ključa (PKIBw)[8]. Sertifikati služe da se osigura povreljivost, integritet, autentičnost i odgovornost u obradi i prenosu informacija. Omogućeno je potpisivanje imejlova i dokumenata sa elektronskim potpisom. Koriste se sertifikati sa veoma dugim rokom važenja, u nekim slučajevima i do 20 godina, kako bi se osigurala dugoročna upotrebljivost i pouzdanost sistema.

Proizvodnju kriptografskih ključeva i sertifikata sprovodi Trust Center Bundeswehr-a, koji je takođe, odgovoran za tehnički rad PKIBw.

Međutim, kao i u svakom sistemu postoje određeni izazovi i nedostaci u PKI infrastrukturi. Na primer, neki stručnjaci smataraju da je broj sertifikacionih tela u Nemačkoj preveliki, što može dovesti do nepotrebne složenosti i povećanja troškova.

Nemačka takođe ima PKI infrastrukturu koja se koristi za elektronsko glasanje, što je važan korak u razvoju digitalne demokratije.

## 3.2. Infrastruktura javnih ključeva u Italiji

Italija ima razvijenu infrastrukturu javnih ključeva koja se koristi za obezbeđivanje bezbednosti u različitim oblastima, uključujući elektronske transakcije, elektronsko glasanje i elektronsko potpisivanje dokumenta. U Italiji, postoje 20 akreditovanih EU kvalifikovanih pružalaca usluga od poverenja koji su pod kontrolom države i odgovaraju najvišim standardima bezbednosti i kvaliteta. Ovaj broj pružalaca usluga od poverenja je u skladu sa drugim zemljama EU i pokazuje razvijenost i spremnost Italije za primenu digitalnih sertifikata i bezbednu razmenu podataka.

Agencija za digitalnu Italiju (Agenzia per l'Italia Digitale) [9] je regulatorno telo koje akredituje kvalifikovane pružaoce usluga od poverenja i nadgleda sertifikaciona tela koje izdaju elektronske poptise i pečate.

U Italiji se uglavnom koriste kriptografski algoritmi RSA i ECDSA. Dužina ključeva za ova dva algoritma može se kretati od 2048 do 4096 bita za RSA, odnosno od 256 do 521 bita za ECDSA. Korisnici dobijaju sertifikate od sertifikacionih tela koja su usklađena sa standardima EU i uglavnom su uključeni u EU listu kvalifikovanih poverljivih uslužnih provajdera.

Ministarstvo odbrane Italije je registrovano sertifikaciono telo u javnom registru akreditovanih sertifikatora od strane Agencije za digitalnu Italiju. Njihova PKI infrastruktura je centralizovana 2014. godine i danas predstavlja zajedničku infrastrukturu koju koriste tri vida oružanih snaga (vojska, mornarica i vazduhoplovstvo). Sertifikacioni centar odbrane (Defense Certification Center) je tehničko telo koje izdaje kvalifikovani sertifikat za elektronski potpis, sertifikat za autentikaciju i sertifikate za server vremenske oznaka (Time Stamping Authority, TSA) [10].

## 3.3. Infrastruktura javnih ključeva u Francuskoj

PKI infrastruktura u Francuskoj se sastoji od 3 sertifikaciona tela - ANSSI (Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information), DCSSI (Direction Centrale de la Sécurité des Systèmes d'Information) i La Poste [11]. ANSSI je najviši organ u hijerarhiji i izdaje digitalne sertifikate za državne organe, privatne kompanije i pojedince. U Francuskoj postoji 30 EU akreditovanih kvalifikovanih pružalaca usluga od poverenja koji pružaju usluge u skladu sa eIDAS regulativom. Ovi provajderi mogu da izdaju elektronske sertifikate za identifikaciju, autentikaciju i potpisivanje i predstavljaju važan deo PKI infrastrukture u Francuskoj.

U PKI infrastrukturi u Francuskoj, koriste se kriptografski algoritmi koji su prihvaćeni u širokom svetu. U zavisnosti od algoritma dužine ključeva se kreće od 2048 do 4096 bita za RSA, odnosno od 256 do 521 bita za ECDSA.

PKI infrastruktura u oružanim snagama Francuske ima sličnu strukturu kao i u drugim delovima državne uprave. Ona se takođe oslanja na sertifikat koji je izdat od ANSSI, ali za potrebe oružanih snaga. U okviru oružanih snaga, PKI infrastruktura koristi se za obezbeđivanje bezbedne elektronske komunikacije, identifikaciju korisnika, zaštitu podataka i pristup sistemima i resursima.

Sertifikati se izdavaju različitim ustanovama u oružanim snagama, u zavisnosti od potreba i uloga korisnika. Ovi sertifikati se koriste za potpisivanje dokumenta, obezbeđivanje bezbedne elektronske pošte, zaštitu pristupa različitim sistemima i resursima, itd.

## 3.4. Infrastruktura javnih ključeva u Finskoj

Finska ima drugačiji pristup elektronskim uslugama od ostalih zemalja Evrope. Agencija za digitalne i populacione podatke Finske služi kao sertifikaciono telo za državu Finsku koja razvija i održava servis za sertifikate građana Finske, državnih radnika i organizacija. Ona je, ujedno, jedini kvalifikovani pružalac usluga od poverenja sa teritorije Finske koji je notifikovan EU [12].

Svi sertifikati za elektronski potpis, izdati fizičkim licima od strane Agencije, su kvalifikovani sertifikati zasnovani na direktivi EU i finskog zakonodavstva. Korensko sertifikaciono telo izdaje sertifikate potčinjenim sertifikacionim telima koji izdaju korisničke i resursne sertifikate. Sertifikati korisnika se čuvaju u tokenima. Agencija izdaje sertifikat za elektronski potpis, sertifikate za socijalno i zdravstveno osiguranje, sertifikate za servise: serverske sertfikate, sertifikate za e-mail i sertifikate za sistemsko potpisivanje.

Kada se radi o kvalifikovanim digitalnim sertifikatima, koriste se algoritmi RSA i ECDSA, sa dužinama ključeva od 2048 bita za RSA i od 256 bita za ECDSA. Lanac poverenja uključuje državne sertifikacione autoritete, kao i nezavisne treće strane. Sertifikati se koriste za autentikaciju korisnika, kao i za digitalno potpisivanje dokumenata i zaštitu tajnosti i integriteta podataka.

U oružanim snagama Finske, PKI se primenjuje na različitim nivoima i funkcionalnostima. Organizacije u okviru oružanih snaga imaju sopstvene sertifikacione organe koji izdaju sertifikate korisnicima za potpisivanje i enkripciju podataka.

### 3.5. Infrastruktura javnih ključeva u Estoniji

Infrastruktura javnih ključeva u Estoniji predstavlja izuzetno napredan i inovativan sistem koji obezbeđuje sigurnost i autentičnost elektronske komunikacije i transakcija u ovoj baltičkoj državi.

Estonija je lider u razvoju e-upravljanja i e-usluga. PKI Estonije je jedan od ključnih elemenata ovog sistema i pruža sigurnosne mehanizme za elektronsku identifikaciju i potpisivanje. Integracija PKI u e-upravljanje čini Estoniju pionirom u ovom području, a njen sistem je jedan od najnaprednijih i najsigurnijih u svetu.

Sistem javnih ključeva u Estoniji ima široku primenu u različitim sektorima, uključujući elektronsku upravu, finansije, zdravstvo, obrazovanje i poslovanje. Elektronska identifikacija se koristi za prijavljivanje na poslovne portale, pristup bankovnim računima, kupovinu na internetu, elektronsko glasanje i druge aktivnosti koje zahtevaju potvrdu identiteta.

Na osnovu informacija sa sajta eIDAS, u Estoniji postoji dva akreditovana pružaoca usluga od poverenja. Korenski sertifikat je izdat od strane Estonske države, koji potom potpisuje sertifikate izdavača koji su dodeljeni različitim entitetima u državi. Ova hijerarhijska struktura obezbeđuje sistem provere poverenja i validacije sertifikata.

Što se tiče dužine ključeva, u Estoniji se koriste ključevi sa dužinom od 2048 bita za RSA algoritam i 521 bita za ECDSA algoritam [13]. Za digitalno potpisivanje koristi se RSA ili ECDSA, dok se za šifrovanje koristi RSA algoritam.

Oružane snage Estonije koriste PKI infrastrukturu za identifikaciju i autentifikaciju svojih vojnika i personala, obezbeđujući pristup različitim sistemima i resursima na bazi javnih i privatnih ključeva. Dužina ključeva i korišćeni algoritmi u oružanim snagama obično su u skladu sa savremenim kriptografskim standardima, obezbeđujući jaku zaštitu od neovlašćenog pristupa i nedozvoljene modifikacije podataka.

## 4. INFRASTRUKTURA JAVNIH KLJUČEVA U REPUBLICI SRBIJI

U Republici Srbiji kvalifikovani elektronski sertifikat izdaju sledeća sertifikaciona tela [14]:

- Javno preduzeće „Pošta Srbije“,
- Privredna komora Srbije,
- MUP RS,
- Privredno društvo Halcom a.d. Beograd,
- „E- Smart Systems“ d.o.o.,
- Ministratsvo odbrane i Vojske Srbije,

U te svrhe koriste RSA kriptografski algoritam koji koristi ključevi različitih dužina od 2048 do 4096 bita.

Proces izdavanja kvalifikovanih elektronskih sertifikata u Republici Srbiji je strogo regulisan i dokumentovan. Sertifikaciona tela su u obavezi da slede proceduru identifikacije korisnika i izdavanja sertifikata, kako bi se oslonili na jake procedure provere i dodatno ojačali bezbednost sistema. U Republici Srbiji pored navedenih sertifikacionih tela postoje i ona koja izdaju nekvalifikovane elektronske sertifikate.

Struktura lanca poverenja u Republici Srbiji je decentralizovana i u osnovi lanca poverenja je korenski sertifikata, koji predstavlja najvišu tačku poverenja u ovom sistemu. Svi sertifikati koji su potpisani od strane korenaskog sertifikacionog tela su validni. Lanac poverenja uključuje različita sertifikaciona tela, ali i korisnike koji koriste kvalifikovane elektronske sertifikate. Svaki korisnik ima svoj jedinstveni sertifikat, koji je potpisan od strane određenog sertifikacionog tela. Kritična tačka u lancu poverenja je proces izdavanja sertifikata. Da bi se izbegle greške i mogući problemi, izdavači sertifikata moraju da primene standarde i procedure koje su usklađene sa odgovarajućim zakonima i regulativama.

Ministarstvo odbrane i Vojska Srbije [15] raspolažu sa sertifikacionim telom koje izdaje kvalifikovane elektronske sertifikate za digitalni potpis, autentikaciju, zaštitu poruka i neporecivost transakcija za službene potrebe svojih pripadnika.

## 5. KOMPARATIVNA ANALIZA PKI

Na osnovu analize PKI infrastrukture šest evropskih zemalja uključujući i Republiku Srbiju, kojom su obuhvaćeni parametari kao što su: lanac poverenja, dužina ključeva, korišćeni kriptografski algoritmi, broj pružalaca usluga od poverenja i upotreba sertifikata zaključeno je da nema velikih odstupanja. Lanci poverenja koji se koriste u PKI imaju istu struktura, koja se zasniva na koren sertifikatu. U zavisnosti od kriptografskog algoritma uglavnom se koriste ključevi dužina od 2048 do 4096 bita.

Svi postojeći sistemi pružalaca kvalifikovanih usluga od poverenja u Republici Srbiju trenutno su bazirani na RSA asimetričnoj kriptografiji i X.509 v3 sertifikatima. Prelezak na kriptografiju eliptičnih kriva (Elliptic Curve Cryptography, ECC), koja je već u upotrebi evropskih zemalja, razmatra većina pružalaca usluga u Republici Srbiji, ali još uvek nema zahteva, što je rezultat nasleđenog stanja i obaveza prema korisnicima kojima su već izdati sertifikati. Svojstva koja ECC čine boljom opcijom od tradicionalog RSA sistema su to što se koristi ključ manje dužine koji obezbeđuje veću snagu šifrovanja u odnosu na RSA algoritma i zahteva manje računarske snage za šifrovanje i dešifrovanje, što ga čini sigurnijim, pa ga je skoro nemoguće probiti korišćenjem modernih tehnologija.

**Tabela 1:** Komparativna analiza dužine ključeva i kriptografskih algoritama

| Parametar | Nemačka | Italija | Francuska | Finska | Estonija | Srbija |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Kriptografski algoritmi | RSA, ECDSA, SHA512 | RSA, ECDSA, SHA256 | RSA, ECDSA, SHA256 | RSA, ECDSA, SHA512 | RSA, ECDSA, SHA512 | RSA, SHA256 i SHA512 |
| Dužina ključa RSA | 2048-4096 | 2048-4096 | 2048-4096 | 2048-4096 | 2048-4096 | 2048-4096 |
| Dužina ključa ECDSA | 256-521 | 256-521 | 256-521 | 256-521 | 521 | - |
| Broj CA tela | 13 | 20 | 30 | 1 | 2 | 6 |
| Upotreba sertifikata | El. potpis i autentikacija | El. potpis, TSA i mrežna autentikacija | El. potpis, el. pošta, pristup resursima | El. potpis, osiguranje, el. pošta, sistemsko potpisivanje | El. potpis i identifikacija | El. potpis, pečat, autentikacija |

Što se tiče modela lanaca poverenja kako u Republici Srbiji tako i u drugim evropskim zemljama najzastupljeniji u upotrebi je hijerarhijski model, koji podrazumeva jedan koren sertifikat, kao najvišu tačku poverenja.

## 6. ZAKLJUČAK

Različite evropske zemlje mogu imati neke razlike u svojim PKI infrastrukturama koje su obično zasnovane na specifičnim potrebama, zakonodavstvu i standardima svake zemlje. Evropske zemlje obično slede opšte principe i standarde PKI tehnologije, ali mogu postojati i neke nijanse i razlike u primeni.

Sve evropske zemlje sarađuju u okviru Evropske unije i drugih međunarodnih tela da bi se postigla harmonizacija i usaglašavanje PKI standarda i prakse. Napori za harmonizaciju uključuju usvajanje zajedničkih principa i preporuka, kao i definisanje zajedničkih standarda i obligacija. Postoji sistem akreditacije i sertifikacije za provajdere usluga od poverenja u skladu sa Zakonom o elektronskoj identifikaciji i uslugama od poverenja u Evropskoj uniji (eIDAS).

Sistem akreditacije ima za cilj osiguranje sigurnog okruženja za PKI usluge. Broj akreditovanih pružalaca usluga od poverenja varira između zemalja. Usaglašenost u dužini ključeva i algoritmima koje se koriste u PKI sistemima je važna i uglavnom u evropsmkim zemljama je ista. U Republici Srbiji PKI arhitekture da bi pratile savremene trendove potrebno je da se pored RSA algoritma uvedu i algoritmi sa eliptičkim krivama i odgovarajućom dužinom kriptografskog ključa, jer ne važi uvek princip da veća dužina ključa obezbeđuje veću sigurnost.

U svetu kriptografije, postoje opšti preporučeni standardi, ali konkretna primena može varirati između zemalja. Evidentno je da PKI u Republici Srbiji ne odstupa mnogo u pogledu kompletne arhitekture PKI u odnosu na ostale evropske zemlje.

## LITERATURA

[1] Electronic Communications, The Electronic Identification and Trust Services for Electronic Transactions Regulations 2016, No.696, 2016, Pristupano 24.05.2023., Raspoloživo na: https://www.legislation.gov.uk/uksi/2016/696/pdfs/uksi_20160696_en.pdf

[2] Prodanović R. i Vulić I. (2017). Komparativna analiza PKI u Srbiji. INFOTECH 2014 ICT Conference & Exhibition, Aranđelovac, 2014.

[3] Mišković A. i Veinović M. (2011). Komparativna analiza sertifikacionih tela u Srbiji. 2011, 2011 19thTelecommunications Forum (TELFOR) Proceedings of Papers.

[4] Zakia EL UAHHABI i Hanan EL BAKKALI (2014). A Comparative Study of PKI Trust Models. 2014 Fifth International Conference on Next Generation Networks and Services (NGNS) May 28-30, 2014, Casablanca, Morocco.

[5] Sean Lancaster, David C. Yen, Shi-Ming Huang, Public key infrastructure: a micro and macro analysis, Computer Standards & Interfaces, Volume 25, Issue 5, 2003, Pages 437-446, ISSN 0920-5489, https://doi.org/10.1016/S0920-5489(03)00043-6,

[6] https://eidas.ec.europa.eu/efda/tl-browser/#/screen/tl/DE, Pristupano 24.03.2023.

[7] http://www.bundesnetzagentur.de, Pristupano 24.03.2023.

[8] https://www.bundeswehr.de/de/organisation/ausruestung-baainbw/vergabe/public-key-infrastructure-der-bundeswehr-pkibw-, Pristupano 04.04.2023.

[9] https://www.agid.gov.it/it, Pristupano 15.04.2023.

[10] https://pki.difesa.it/, Pristupano 15.04.2023.

[11] https://www.ssi.gouv.fr/, Pristupano 20.04.2023.

[12] https://dvv.fi/en/root-certificate-g2, Pristupano 20.04.2023.

[13] https://www.skidsolutions.eu/en/repository/certs/, Pristupano 24.05.2023.

[14] https://mit.gov.rs/tekst/583/registar-pruzalaca-kvalifikovanih-usluga-od-poverenja-.php, Pristupano 24.05.2023.

[15] http://www.ca.vs.rs/sertifikaciono-telo-mo-i-vs, Pristupano 24.05.2023.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES: COMPREHENSIVE APPROACH

OKAMGBA VALENTINE CHIMEZIE[1], IGBINOBA FAVOUR OSAOGIE[2],

[1] College of Science, Engineering & Technology, Osun State University, butsisfa@gmail.com
[2] College of Science, Engineering & Technology, Osun State University, tfnn1997@gmail.com

---

***Abstract:*** *Information systems and technologies play a vital role in modern organizations, enabling efficient data management, communication, and decision-making processes. This paper provides a comprehensive overview of information systems and technologies, including their components, types, and key functionalities. It explores their impact on businesses, challenges associated with their implementation, and emerging trends in the field. The paper concludes with a discussion on the future prospects and potential advancements in information systems and technologies.*

***Keywords:*** *Business Impact, Cyber Security, Data Management, Decision-Making, Emerging Trends, Future Prospects, Implementation Challenges, Information Systems, Information Technologies.*

---

## 1. INTRODUCTION

In The Digital Era, Information Systems And Technologies Have Become Indispensable Tools For Organizations Across Various Sectors. These Systems Encompass A Wide Range Of Hardware, Software, Networks, And Data That Facilitate The Collection, Storage, Processing, And Dissemination Of Information. They Provide Businesses With The Means To Streamline Operations, Improve Decision-Making, Enhance Collaboration, And Gain A Competitive Edge.

The Topic to be treated in this paper includes the following.

1. The Role of Information Systems in Digital Transformation
2. Cyber Security Challenges and Strategies in Information Systems
3. The Impact of Artificial Intelligence and Machine Learning on Information Systems
4. Big Data Analytics: Leveraging Data for Business Insights and Decision-making
5. Cloud Computing and its Influence on Information Systems Architecture

## 2. THE ROLE OF INFORMATION SYSTEMS IN DIGITAL TRANSFORMATION.

Digital transformation has become a strategic imperative for organizations seeking to adapt and thrive in today's rapidly evolving technological landscape. Information systems play a pivotal role in facilitating and driving digital transformation initiatives. This paper explores the significant role of information systems in enabling and supporting organizations' digital transformation efforts.

Automation and Streamlining Processes: Information systems automate and streamline manual processes, eliminating inefficiencies and reducing human error. By digitizing and integrating various operational activities, organizations can achieve greater accuracy, speed, and productivity. This transformation allows for improved decision-making, resource allocation, and overall operational effectiveness.

Data-driven Insights: Information systems provide access to vast amounts of data, enabling organizations to leverage analytics and business intelligence tools. By collecting, storing, and analyzing data from various sources, organizations gain valuable insights into customer behavior, market trends, and operational performance. These insights drive informed decision-making, identify opportunities, and optimize business strategies.

Enhanced Collaboration and Communication: Information systems facilitate seamless communication and collaboration across departments, teams, and stakeholders. Through shared platforms, cloud-based technologies, and collaborative tools, organizations can break down silos, foster knowledge sharing, and enable real-time collaboration. This enhances agility, innovation, and cross-functional cooperation, all of which are essential for successful digital transformation.

Customer Experience and Engagement: Information systems enable organizations to deliver personalized and seamless customer experiences. Customer relationship management (CRM) systems, customer analytics, and digital marketing platforms help organizations understand customer preferences, tailor offerings, and engage customers through various channels. By leveraging information systems, organizations can build strong customer relationship, drive loyalty, and gain a competitive edge.

Agility and Adaptability: Digital transformation requires organizations to be agile and adaptable in a rapidly changing business environment. Information systems provide the flexibility and scalability needed to respond quickly to market dynamics and evolving customer demands. Cloud computing, virtualization, and software-as-a-service (Saabs) models empower organizations to scale resources, adopt new technologies, and experiment with innovative solutions.

Security and Risk Management: As organizations embrace digital technologies, information systems play a critical role in ensuring data security and managing risks. Robust cyber security measures, data encryption, access controls, and disaster recovery plans safeguard sensitive information. Information systems also enable organizations to monitor, detect, and respond to potential security threats, minimizing the impact of cyber-attacks and data breaches.

## 3. CYBER SECURITY CHALLENGES AND STRATEGIES IN INFORMATION SYSTEMS.

With the increasing reliance on information systems, organizations face a multitude of cyber security challenges. Protecting sensitive data, ensuring the integrity of systems, and mitigating cyber threats are critical for maintaining trust and preventing financial and reputational damage. It explores the key cyber security challenges faced by organizations and discusses strategies to address them effectively.

Evolving Threat Landscape: The cyber security landscape is constantly evolving, with new and sophisticated threats emerging regularly. Organizations must stay vigilant against malware, ransom ware, phishing attacks, and other cyber threats. Continuous monitoring, threat intelligence, and regular vulnerability assessments are essential to identify and mitigate potential risks promptly.

Insider Threats: Insider threats pose a significant challenge to information systems security. Malicious or negligent employees, contractors, or partners can exploit their access privileges to compromise data or disrupt operations. Implementing robust access controls, conducting background checks, and promoting security awareness and training programs help mitigate insider threats.

Data Protection and Privacy: Protecting sensitive data is a paramount concern in information systems security. Organizations must comply with data protection regulations and safeguard personal and confidential information. Encryption, data classification, secure storage, and access controls are crucial for maintaining data privacy and integrity.

Cloud Security: The adoption of cloud computing introduces new cyber security challenges. Organizations must ensure the security of data stored in the cloud, as well as secure access to cloud-based systems. Implementing strong authentication mechanisms, encryption, and regular audits of cloud service providers are critical to maintaining data security in the cloud.

Patch Management and System Updates: Maintaining up-to-date systems and applications is crucial for preventing vulnerabilities and exploits. Organizations need to establish robust patch management processes to apply security updates promptly. Regular system updates, including firmware and software updates, help address known vulnerabilities and protect against emerging threats.

Incident Response and Recovery: Even with preventive measures, organizations must be prepared for cyber incidents. Establishing an incident response plan and a dedicated team to handle security incidents allows for timely detection, containment, and recovery from security breaches. Regularly testing incident response procedures through simulations and drills helps ensure preparedness.

Security Awareness and Training: Employees play a vital role in maintaining information systems security. Organizations should invest in security awareness programs and provide regular training to educate employees about common cyber security risks, best practices, and the importance of maintaining a security-conscious culture.

Collaboration and Information Sharing: Cyber security is a collective effort, and organizations should collaborate with industry peers, government agencies, and cyber security communities. Sharing threat intelligence, best practices, and lessons learned helps organizations stay updated on emerging threats and develop effective security strategies.

## 4. THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING ON INFORMATION SYSTEMS.

Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) have revolutionized the field of information systems, offering unprecedented opportunities for organizations to extract insights, automate processes, and enhance decision-making. The significant impact of AI and ML on information systems, including their applications, benefits, and challenges.

Advanced Data Analytics: AI and ML algorithms enable information systems to process and analyze vast amounts of data quickly and accurately. By leveraging ML techniques, organizations can uncover patterns, trends, and correlations within their data, leading to valuable insights for informed decision-making and strategic planning. Advanced data analytics empower organizations to identify opportunities, optimize processes, and gain a competitive edge.

Intelligent Automation: AI and ML technologies facilitate the automation of routine and repetitive tasks, enabling organizations to streamline operations and improve efficiency. Intelligent automation can be applied to various areas, such as data entry, customer service, fraud detection, and supply chain management. This reduces human error, increases productivity, and allows employees to focus on more complex and value-added activities.

Personalized User Experiences: AI and ML algorithms enable information systems to deliver personalized user experiences. By analyzing user preferences, behaviors, and historical data, systems can provide tailored recommendations, content, and services. Personalization enhances customer engagement, satisfaction, and loyalty, leading to improved business outcomes.

Predictive Analytics and Forecasting: AI and ML techniques empower information systems to predict future outcomes based on historical data. By leveraging predictive analytics, organizations can forecast demand, anticipate customer behavior, and optimize resource allocation. This helps organizations make proactive decisions and develop data-driven strategies.

Enhanced Security and Fraud Detection: AI and ML algorithms enhance the security of information systems by detecting and preventing cyber threats and fraudulent activities. ML models can analyze patterns, anomalies, and user behaviors to identify potential security breaches or fraudulent transactions in real-time. This strengthens the overall cyber security posture and safeguards sensitive data.

Natural Language Processing and Conversational Interfaces: AI and ML enable information systems to understand and interact with human language through natural language processing (NLP) techniques. This allows for the development of chat bots, virtual assistants, and voice-activated interfaces, enhancing user experience and customer service. NLP also facilitates the analysis of unstructured data, such as social media comments or customer reviews, for sentiment analysis and market insights.

## 5. BIG DATA ANALYTICS: LEVERAGING DATA FOR BUSINESS INSIGHTS AND DECISION-MAKING.

In today's data-driven world, organizations are inundated with vast amounts of data. Big data analytics has emerged as a powerful tool to extract valuable insights, uncover patterns, and make informed business decisions. This paper explores the significant impact of big data analytics on organizations, highlighting its applications, benefits, and challenges.

Extracting Actionable Insights: Big data analytics enables organizations to process and analyze large and diverse datasets to extract actionable insights. By applying advanced analytics techniques, such as data mining, machine learning, and statistical modeling, organizations can uncover hidden patterns, correlations, and trends within their data. These insights provide valuable information for strategic planning, operational improvements, and identifying new business opportunities.

Enhanced Decision-making: Big data analytics empowers organizations to make data-driven decisions based on comprehensive and real-time information. By integrating data from multiple sources and analyzing it in a holistic manner, organizations can gain a deeper understanding of their operations, customers, and markets. This enables them to make informed decisions, optimize processes, and respond swiftly to changing market dynamics.

Customer Analytics and Personalization: Big data analytics enables organizations to better understand their customers by analyzing their behaviors, preferences, and interactions. By leveraging customer analytics, organizations can personalize marketing campaigns, improve customer segmentation, and deliver targeted products and services. This leads to enhanced customer satisfaction, loyalty, and ultimately, increased revenue.

Operational Efficiency and Cost Optimization: Big data analytics helps organizations identify areas for operational improvement and cost optimization. By analyzing operational data, organizations can identify bottlenecks, inefficiencies, and opportunities for process automation. This allows them to streamline operations, reduce costs, and improve overall efficiency. Additionally, predictive analytics can help organizations anticipate maintenance needs, optimize resource allocation, and minimize downtime.

Risk Management and Fraud Detection: Big data analytics plays a crucial role in risk management and fraud detection. By analyzing large volumes of data in real-time, organizations can identify anomalies, detect potential fraud, and mitigate risks. Fraud detection algorithms, anomaly detection techniques, and predictive modeling can help organizations proactively identify fraudulent activities and take appropriate actions.

Challenges and Considerations: While big data analytics offers immense benefits, there are challenges organizations need to address. These include data quality and integrity, data privacy and security, data governance, and talent acquisition. Organizations must ensure the ethical and responsible use of data, comply with regulatory requirements, and invest in data governance frameworks and skilled professionals to derive maximum value from big data analytics.

## 6. CLOUD COMPUTING AND ITS INFLUENCE ON INFORMATION SYSTEMS ARCHITECTURE.

Cloud computing has revolutionized the way organizations manage and deliver information systems. With its scalability, flexibility, and cost-efficiency, cloud computing has transformed the traditional architecture of information systems. This paper elaborate on the significant influence of cloud computing on information systems architecture, highlighting its key benefits and considerations.

Scalability and Elasticity: Cloud computing enables organizations to scale their information systems resources rapidly. Unlike traditional on-premises infrastructure, the cloud offers virtually limitless scalability, allowing organizations to allocate computing resources based on demand. This scalability ensures that information systems can handle varying workloads efficiently, avoiding underutilization or performance bottlenecks.

Cost Efficiency: Cloud computing offers cost savings compared to traditional information systems architecture. Organizations can avoid upfront infrastructure investments and pay for resources on a pay-as-you-go basis. The cloud eliminates the need for dedicated hardware, reduces maintenance costs, and optimizes resource allocation, resulting in significant cost savings for organizations.

Flexibility and Agility: Cloud computing provides organizations with the flexibility and agility to adapt to changing business requirements. The cloud's self-service nature allows users to provision and de-provision resources quickly, reducing time to market for new applications and services. This flexibility enables organizations to experiment, innovate, and respond swiftly to market demands, giving them a competitive advantage.

Geographic Distribution and High Availability: Cloud computing allows information systems to be geographically distributed across multiple data centers. This distributed architecture enhances availability and resilience by reducing the risk of single points of failure. Organizations can leverage cloud provider's global infrastructure to ensure high availability and disaster recovery capabilities, minimizing downtime and ensuring uninterrupted services.

Security and Compliance: Cloud computing providers invest heavily in security measures and certifications, often surpassing the security capabilities of individual organizations. Cloud platforms offer robust security controls, data encryption, identity management, and compliance frameworks, ensuring the protection of sensitive information and meeting regulatory requirements. Organizations can leverage these security features to enhance the overall security posture of their information systems.

Integration and Interoperability: Cloud computing enables seamless integration and interoperability among diverse information systems. Organizations can leverage cloud-based integration platforms and APIs to connect different applications, systems, and services, creating a unified and cohesive information ecosystem. This integration capability streamlines business processes, improves data flow, and enhances collaboration across organizational boundaries.

The Components of Information Systems Information systems consist of several interconnected components, each serving a specific purpose. These components include hardware (computers, servers, storage devices), software (applications, operating systems), data (databases, information repositories), networks (internet, intranets), and people (users, IT professionals). The integration and interaction among these components form the foundation of effective information systems.

## 7. CONCLUSION

Information systems and technologies have become integral to the success of organizations in today's digital age. They enable efficient data management, communication, decision-making, and provide a competitive advantage. However, challenges in implementation and emerging trends necessitate continuous adaptation and innovation in this field. By leveraging the capabilities of information systems and embracing technological advancements, organizations can thrive in an increasingly interconnected and data-driven world.

## REFERENCES

[1] Beynon-Davies, P. (2018). Business Information Systems. Palgrave

[2] Bocij, P., Chaffey, D., Greasley, A., & Hickie, S. (2016). Business Information Systems: Technology, Development and Management. Pearson Education.

[3] Chen, C. M. (2018). Information Systems and Information Technology. In Encyclopedia of Library and Information Sciences (pp. 1976-1983). Taylor & Francis.

[4] Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2020). Management Information Systems: Managing the Digital Firm. Pearson.

[5] McLeod, R. Jr., & Schell, G. P. (2014). Management Information Systems. Pearson Education.

[6] O'Brien, J. A., & Maracas, G. M. (2018). Management Information Systems. McGraw-Hill Education.

[7] Pearlson, K., Saunders, C., & Galletta, D. (2016). Managing and Using Information Systems: A Strategic Approach. John Wiley & Sons.

[8] Rainer, R. K., Prince, B., & Cegielski, C. (2019). Introduction to Information Systems: Supporting and Transforming Business. John Wiley & Sons.

[9] Stair, R., Reynolds, G., & Chesney, T. (2018). Fundamentals of Information Systems. Engage Learning

[10] Turban, E., Pollard, C., & Wood, G. R. (2020). Information Technology for Management: On-Demand Strategies for Performance, Growth, and Sustainability. John Wiley & Sons.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА *MERCURE*-А И *WEBSOCKET*-А У КОМУНИКАЦИЈИ У РЕАЛНОМ ВРЕМЕНУ

# COMPARATIVE ANALYSIS OF MERCURE AND WEBSOCKET IN REAL-TIME COMMUNICATION

ПРЕДРАГ ИМШИЋ[1], НЕНАД АНИЧИЋ[2], ДЕЈАН СТОЈИМИРОВИЋ[3]

[1]Факултет организационих наука, Београд, predrag.imsic@fon.bg.ac.rs
[2]Факултет организационих наука, Београд, nenad.anicic@fon.bg.ac.rs
[3]Факултет организационих наука, Београд, dejan.stojimirovic@fon.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Рад се бави сагледавањем главних карактеристика два протокола за комуникацију у реалном времену: Mercure-а и WebSocket-а. Јасно дефинише кључне тачке разликовања ових протокола и доноси закључке у погледу њихове примене, чиме даје прецизне смернице за доношење одлуке избора одговарајућег протокола за решавање проблема из реалног света.*

***Кључне речи:****Mercure, WebSocket, клијент-сервер архитектура, комуникација у реалном времену, компаративна анализа*

***Abstract:*** *The paper deals with the overview of the main characteristics of two protocols for real-time communication: Mercure and WebSocket. It clearly defines the main differences between these protocols and concludes their implementation, thereby providing precise guidelines for deciding on choosing the appropriate protocol for solving real-world problems.*

***Keywords:*** *Mercure, WebSocket, client-server architecture, real-time communication, comparative analysis*

---

## 1. УВОД

Поред чињенице да се данас интернет апликације креирају применом савремене технологије која тежи константном унапређивању, оне треба да поседују и прецизно осмишљену и скалабилну архитектуру као подршку функционисању и напредовању апликације.

Када се говори о развоју и коришћењу интернет апликација, две перспективе је неопходно имати у виду. Са једне стране, неопходно је искористити технологије такве да развојном тиму омогућавају да сам развој и унапређивање апликације буду лаки, одрживи и инспиративни. Са друге стране, апликација треба да правовремено обради све акције и захтеве крајњих корисника и да омогући да њихово искуство буде на завидно високом нивоу, као и да обради веома велики број захтева без застоја и без грешака.

Имајући наведено у виду, овај рад доприноси бољем и лакшем доношењу одлуке избора протокола за комуникацију у реалном времену вршећи компаративну анализу *Mercure* и *WebSocket* протокола.

У другом поглављу, рад се фокусира на главне карактеристике *Mercure* протокола, начин на који функционише, која је главна идеја и који су главни механизми на које се цео процес комуникације наслања.

У трећем поглављу, фокус рада се пребацује на *WebSocket* протокол, начин на који успоставља везу, слој ОСИ референтног модела на ком се базира, као и на главне догађаје који представљају кључне тачке функционисања комуникације након што се успостави веза.

Четврто поглавље се осврће на разлике између ових протокола приказујући их табеларно, а потом и описује сваку разлику са више детаља.

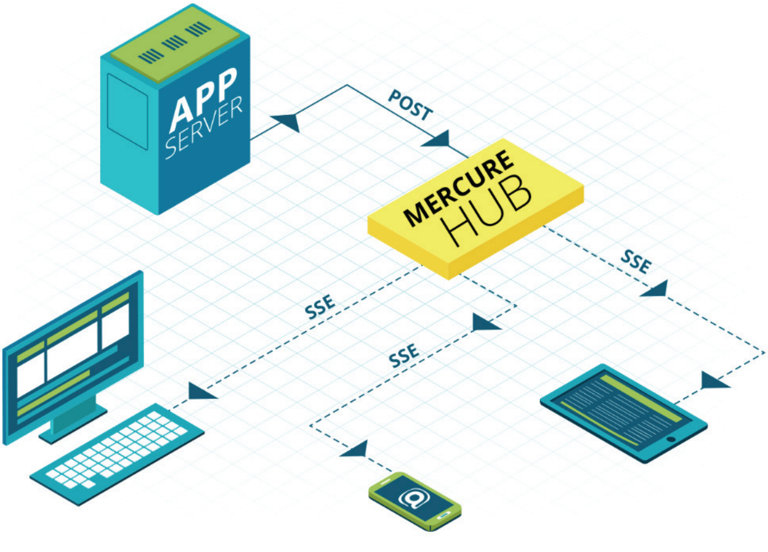
Последње поглавље закључује овај рад посматрајући разлике ових протокола из угла решавања проблематике њиховог избора у конкретним интернет апликацијама или случајевима коришћења, уз давање примера из реалног света класификованих по протоколу који им највише одговара за задовољавање потреба свих заинтересованих страна.

## 2. *MERCURE* ПРОТОКОЛ

*Mercure* је протокол који омогућава серверски иницирано, брзо, поуздано и ефикасно слање података ка интернет прегледачима (енг. *browser*) и осталим HTTP клијентима. [2]

Његову основу чине *HTTP* и серверско слање догађаја (енг. *Server-sent events). HTTP* представља мрежни протокол за једносмерно слање података ослањајући се на *TCP* протокол на транспортном слоју (ређе *UDP* протокол). Серверско слање догађаја је један од *HTML5* програмских интерфејса апликације (енг. *API*) и представља решење помоћу кога се, након иницијалног успостављања конекције између клијента и сервера, једносмерно шаљу подаци од сервера ка клијенту.

Функционише помоћу објава-претплата принципа (енг. *publish-subscribe*) у ком се клијенту претплаћују на одређени ресурс, док активност објаве врши сервер, који има задужење да све претплаћене клијенте обавештава о променама ресурса. Кључну улогу у овом протоколу заузима *Mercure Hub*. Представља интернет сервер који имплементира *Mercure* протокол и који чува информације о томе који клијент је на који ресурс претплаћен. Након захтева сервера за објављивањем конкретног ресурса, *Hub* обавештава све претплаћене клијенте.



**Слика 1:** Комуникација у реалном времену помоћу објављивања ресурса[4]

Апликативни сервер (енг. *app server*) шаље *POST* захтев који у себи носи садржај поруке(ресурса) која треба да се проследи свим клијентима, што се може видети на слици. *Mercure Hub* прихвата захтев и путем серверски иницираног слања порука прослеђује поруку(ресурс) свим клијентима који су претплаћени на тај ресурс, без обзира да ли је клијент рачунар, телефон, таблет или неки други уређај.

Наведени принцип објаве-претплате састоји се од неколико механизама који ће бити укратко објашњени у наредним пасусима.

Механизмом откривања клијент (нпр. интернет прегледач) добија информацију о адреси *Hub*-а као и колачић којим се дефинише скуп ресурса на које може да се претплати. Овај механизам се окида приликом редовних клијентских *HTTP* захтева помоћу *GET* методе, током којих сервер открива наведене информације клијенту.

Након што клијент дозна локацију *Hub*-а, механизмом претплате се претплаћује на жељене ресурсе слањем *GET* захтева. *Hub* проверава клијентов колачић који стиже претходно наведеним захтевом и проверава да ли клијент може да се претплати на тражене ресурсе, након чега се успоставља трајна конекција.

Након што сервер пошаље захтев ка *Hub*-у за објављивање ресурса, механизмом објављивања се претходно успостављеним трајним конекцијама шаљу ажурирани ресурси ка претплаћеним клијентима.[3]

## 3. *WEBSOCKET* ПРОТОКОЛ

Како *HTTP* протокол представља једносмеран протокол и у клијент-сервер архитектури се користи тако што клијент шаље захтев ка серверу, који сервер потом услужи, долази се до закључка се овај протокол, као такав, не може идеално искористити за задовољавање потреба комуникације у реалном времену.

Из наведеног разлога, *WebSocket* протокол функционише тако што се формира веза између ентитета (клијента и сервера у конкретном случају) користећи бенефите које пружа *TCP* протокол. *TCP* протокол се налази на транспортном слоју ОСИ референтног модела и карактерише га дуплексна услуга која омогућава двосмеран проток информација. [3]

Као први корак у успостављању бидирекционе везе, *WebSocket* протокол користи *HTTP* протокол, након чега се формира веза између клијента и сервера која је трајно отворена све док неки од учесника не одлучи да је затвори. На овај начин се драстично смањује кашњење у комуникацији јер сервер има константно отворену конекцију ка клијенту и може да му пошаље поруку одмах након што се она појави. [5,1]

Програмски интерфејс апликације *WebSocket*-а заснован је на догађајима који су доступни за ослушкивање и покретање дефинисане логике када настану, а чине их:

- *open* – настаје након што се оконча троструко усаглашавање (енг. *three-way handshake*) и представља сигнал који указује на везу која је успостављена и да је од тог тренутка могућа бидирекциона размена порука,
- *message* – настаје када креираном везом пристигне порука,
- *error* – настаје када се у току размене порука или самог постојања везе појави нека грешка и
- *close* – настаје када се прекине креирана веза. [5,2]

## 4. РАЗЛИКЕ ИЗМЕЂУ ПРОТОКОЛА

У наредној табели ће бити дат преглед главних разлика између протокола описаних у претходна два поглавља, након чега ће свака од разлика бити детаљно описана, са наведеним предностима и манама оба протокола.

**Табела 1:** Разлике између протокола

| | ***Mercure*** | ***WebSocket*** |
|---|---|---|
| **Слој** | Апликативни(*HTTP*) | Транспортни(*TCP*) |
| **Текстуални садржај** | Да | Да |
| **Бинарни садржај** | Не | Да |
| **Тип везе** | Једносмерна(*HTTP*)/Двосмерна(*HTTP*/2) | Двосмерна |
| **Безбедност** | Изграђен на основи *HTTP*-а, уграђени безбедносни механизми | Нема уграђене безбедносне механизме, захтевна имплементација |
| **Механизам поновног успостављања конекције** | Има | Нема |

Када је реч о слоју ОСИ референтног модела на ком се протоколи налазе, *Mercure* је на апликативном, а *WebSocket* на транспортном. Као што је већ описано у претходним поглављима, *Mercure* се заснива на серверски иницираном слању порука који као своју основу користи *HTTP*, за који је познато да је на апликативном слоју. *WebSocket,* са друге стране, само за иницијално успостављање везе користи *HTTP*, након чега се формира *TCP* веза, а *TCP* је део транспортног слоја. Ова разлика чини *Mercure* протоколом вишег нивоа, што утиче на доста његових карактеристика које га разликују од *WebSocket*-а, а биће обрађене у наредним пасусима.

Често занемарена, али врло битна карактеристика протокола за комуникацију у реалном времену јесте тип садржаја који је могуће размењивати оствареним везама. *Mercure*, с обзиром да је заснован на серверски иницираном слању података (енг. *SSE*) које подржава комуникацију у виду протока порука текстуалног садржаја, има ограничење у слању само порука текстуалног типа. Са друге стране, *WebSocket* протокол омогућава и пренос бинарног садржаја. Иако на изглед нерешив недостатак *Mercure* протокола, сваки вид бинарног садржаја се може претворити у текстуални садржај коришћењем *base64* формата енкодирања. Други начин за премошћавање овог недостатка јесте слање сигнала од сервера ка клијенту да постоји доступан бинарни садржај, након чега клијент стандардним захтевом ка серверу преузима тај бинарни садржај.

Што се тиче типа везе који ови протоколи успостављају приликом омогућавања комуникације у реалном времену, већ је било речи о начину на који функционише двосмерна комуникација *WebSocket* протокола. У зависности од верзије *HTTP*-а који користи, *Mercure* протокол може бити и једносмеран и двосмеран. У случају *HTTP/1.1* верзије, комуникација је једносмерна и носи још један недостатак, максималан број веза које клијент може да отвори је 6. *HTTP/2* повећава ову границу на 100 (предефинисана вредност, може се подесити и на већи број) и чини комуникацију двосмерном.[1] Двосмерна комуникација се постиже карактеристиком мултиплексирања (енг. multiplexing) која омогућава да се сваки захтев од клијента ка серверу, поред једносмерне комуникације од сервера ка клијенту, такође одвија истом оствареном *TCP* везом.

Последње две разлике произилазе из првог пасуса који говори о разликама посматраних протокола. Будући да је заснован на *HTTP* протоколу, *Mercure* протокол, са једне стране омогућава, а са друге стране његови корисници уживају функционалности које *HTTP* пружа.

*HTTP/2* подржава безбедносни протокол транспортног слоја (енг. *Transport Layer Security - TLS*) који омогућава безбедно слање података преко мреже. Не ослањајући се на *HTTP/2*, *WebSocket*-и немају уграђене безбедносне механизме, те је потребно имплементирати их накнадно, што је изузетно захтеван и компликован задатак. Такође, ажурирањем *HTTP/2* протокола, *Mercure* аутоматски има најновије безбедносне протоколе, док је у случају

*WebSocket*-а потребно ручно имплементирати све измене како би се испратили најновији стандарди заштите преноса података на мрежи.

Још једна од предности која се истиче при раду са *Mercure* протоколом јесте могућност поновног успостављања конекције и консолидације стања. У случају да се из неког непредвиђеног проблема на мрежи прекине успостављена *HTTP* веза између ентитета, аутоматски се приступа покушају поновног успостављања везе. Текстуални садржај порука који се шаље увек мора да садржи атрибут, тј. пар кључ-вредност *id*, који јединствено идентификује ту поруку. У случају губитка конекције, клијент аутоматски шаље захтев за поновно успостављање конекције, приликом чега шаље последњи *id* који је добио, на основу ког сервер клијенту шаље све поруке које су настале након поруке са примљеним *id*-ем, уколико су настале.[4]

## 5. ЗАКЉУЧАК

Проблематика комуникације интернет апликација у реалном времену је небројено пута анализирана и решавана, стога постоји више савремених и модерних протокола за комуникацију. Избор протокола који ће се користити за решавање овог проблема зависи од више фактора, а ти фактори се одражавају на разлике између *Mercure*-а и *WebSocket*-а које је овај рад анализирао. Стога, потребно је сагледати потребе саме интернет апликације, или, прецизније, потребе самог случаја коришћења, јер је једна од најкоришћенијих опција заправо комбинација више протокола у оквиру једне апликације како би се оптимално искористиле све њихове предности.

Када је реч о *WebSocket*-у, он представља најчешћи избор тимова за развој интернет апликације. Технологија је која је годинама у употреби и иза ње постоји врло развијена заједница која пружа подршку приликом развоја. Поставља се питање: да ли је *WebSocket* протокол идеалан избор за решавање проблема комуникације у реалном времену и представља оптимално решење за било коју конкретну интернет апликацију, тј. случај коришћења? Поред наведених чињеница које му иду у прилог, за овај протокол се може сузити скуп интернет апликација и случаја коришћења који би у потпуности искористили све могућности које пружа. Узимајући у обзир карактеристику двосмерне комуникације истом везом, све апликације у којима је комуникација ентитета са обе стране везе подједнаког или сличног интензитета би искоришћавале ово својство у потпуности. Такође, битна карактеристика јесте пренос и бинарног садржаја, што знатно олакшава рад и смањује проток апликацијама које углавном преносе такав садржај. Апликације тог типа су:

- апликације за видео конференције (*Skype, Zoom*),
- интернет игре за више играча (*League of Legends*, *Counter Strike*) и
- апликације за ћаскање (*Viber, WhatsApp*),

због константне потребе да се шаљу и примају информације једнаким интензитетом.

Са друге стране, *Mercure* протокол укључује све функционалности које *HTTP* протокол пружа, стога је његова примена тиме лакша. Поред наведених функционалности, протокол је у својој основи једносмеран, иако га *HTTP/2* мултиплексирање чини двосмерним, што *Mercure* протокол чини погоднијим за апликације код којих је знатно интензивнија комуникација која је иницирана од стране сервера од комуникације која потиче од клијента. Још једна битна карактеристика јесте пренос само текстуалног садржаја, што не представља нарочит проблем код апликација које преносе и бинарни садржај, али посебан бенефит доноси за апликације које користе искључиво текстуални садржај због једноставности имплементације и ефикасности комуникације. Примери апликација које би имале предности коришћењем *Mercure* протокола су:

- апликације за праћење спортских резултата (*Sofascore, Flashscore*),
- друштвене мреже (*Twitter, Facebook*) за освежавање зида са објавама и
- апликације за трговину акцијама (*WealthFront, AmeriTrade*).

Будући правци истраживања анализираних протокола за комуникацију у реалном времену се огледају у детаљној анализи могућности побољшања управљања грешкама и тиме повећати поузданост и перформансе, као и истраживање начина за повећање скалабилности. Наведени правци нарочито добијају на значају када се у обзир узме чињеница да се интернет апликације развијају и бивају све комплексније и захтевније и да је искуство корисника постављено као главна конкурентска предност.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] *DeveloperMozilla*. (2023). Using_server-sent_events. Preuzeto sa *developer.mozilla*: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Server-sent_events/Using_server-sent_events

[2] Dunglas K. (2023) Draft Dunglas Mercure 07*,* Preuzeto sa *ietf*: https://www.ietf.org/archive/id/draft-dunglas-mercure-07.html

[3] Kurose J., Ross K. (2017) Computer networking – A top-down approach. *Pearson Education,* 232-261

[4] *Mercure.rocks* (2023) Mercure docs. Preuzeto sa *mercure.rocks*: https://mercure.rocks/docs/mercure

[5] Wang V., Salim F., Moskovits P. (2013) The definitive guide to HTML5 WebSocket. *Apress,* 1-13, 13-33

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ANALYSIS OF REQUIRED PROGRAMMING LANGUAGES AND SKILLS IN THE INFORMATION TECHNOLOGIES LABOUR MARKET

TANJA KRUNIĆ[1]

[1] The Higher Education Technical School of Professional Studies in Novi Sad, Serbia, krunic@vtsns.edu.rs

---

***Abstract:*** *Nowadays, working in the IT industry is one of the most profitable businesses. But, in order to be competitive in the IT labour market, one has to be well informed about the required programming languages and skills. This was the motivation to investigate the actual requirements in the IT labour market in this paper. For this purpose, a set of 100 job advertisements published at a popular labour market portal have been taken. The targeted city of the advertisements is taken to be Novi Sad, as this city is known as a huge IT centre in Serbia and southern Europe as well. The results of this analysis can help young people to be aware of which IT technologies are worth studying in order to get a reliable job, and also can be used by teachers as a guide for creating curricula for subjects of study programs in this area.*

***Keywords:*** *Programming languages, Programming skills, Information technologies, Labour market*

---

## 1. INTRODUCTION

In the last decade, IT industry has been of the most successful economy branches in Serbia. This industry is constantly growing. Let us note that the export of IT services in Serbia is significantly greater than the import, [16]. According to [11], over the previous five years, the value of exports in this area increased annually by 20-25%, which is equivalent to a 2.5-fold increase. Just to illustrate this fact, let us mention that export in this branch reached 62 million euros in 2007, 166 million euros in 2011, [26] and exceeded 1.5 billion euros in 2021, [18]. The city of Novi Sad is a leading centre of the IT industry in Serbia, [27], [22]. Numerous IT companies are founded there, and there is an army of IT professionals working in these companies. There are numerous freelancers working in the IT sector in this city. Besides, Novi Sad is a university centre, with many faculties having study programs in the field of information technologies. In order to support the growth of business in the IT sector, the education system should be aware of the skills and technologies required at the labour market, and then to try to adapt the curricula of study programs in this area. Also, any IT expert aiming to obtain a reliable job should also follow new technologies that are frequently required by employers.

This in addition to the Covid19 pandemic crisis were the impetus for initiating a project to organize virtual vocational practice for students enrolled in the Information Technologies and Web Design study programs at the Higher Education Technical School of Professional Studies in Novi Sad. In addition to organizing the possibility that vocational practice in some IT company takes place in a virtual environment, the project included an IT labour market analysis. The main idea of the labour market analysis was to figure out which programming languages and skills are frequently required by employers in IT companies in the region of Novi Sad. The obtained results were compared with technologies studied at the two aforementioned study programs. The project included organizing additional training for students concerning technologies which are required at the IT labour market, but are not included in the curricula of these two study programs. More details of the organized training can be found in [15]. The aim of this project was to enable the faster adaptation of young IT professionals to the labour market. This paper is devoted to a detailed overview of the results of the IT labour market analysis performed in the aforementioned project.

Section 2 presents an overview of popular IT technologies. The analysis of the IT labour market is given in Section 3.

## 2. POPULAR IT TECHNOLOGIES

Programming languages and platforms are developing rapidly. There is a huge army of recommended programming languages to be found at literature. According to [4], [24], [25], [13], currently the most popular IT technologies are the following ones: HTML, CSS, SASS, JavaScript, Elm, TypeScript, Ajax for front-end web development, JavaScript, Go, Scala, Python, Ruby, C#, PHP, Elixir for back-end web development, Swift, Java, Kotlin, Objective C, JavaScript, Dart in Mobile development, Unity and TypeScript in game development, Scala, Go, Python, C# for desktop applications development, Go and Rust for system programming, R for statistical computing, Julia and MATLAB for numerical analysis, SQL, MongoDB, Firebase for databases, and Solidity for smart contracts. On the other hand, there are also many popular frameworks and tech stacks like Bootstrap, React, Angular, Vue, Next, Nest, PureScript, Reason, Content management systems like WordPress, Joomla, Drupal, CMS Hub, Shopify, Magento, PrestaShop, Crownpeak, Contentful, Magnolia, concrete5, TYPO3 and many other, [1], [9]. There are many cloud computing platforms available, such as Microsoft Azure, AWS (Amazon Web services), Google cloud, IBM cloud, Cloud Linux, Hadoop, [21]. According to [2], there is also a long list of version control systems used for realizing projects, like git, CVS, SVN, Mercurial, Monotone, Bazaar, TFS, VSTS, etc.

Agile software development relies on an incremental, iterative approach. Agile methodologies encourage constant feedback from end users and are open to changing requirements over time. Members of cross-functional teams work on iterations of a product that are organized into a backlog and prioritized according to the value to customers or the business. The goal of each iteration is to make a product that works. Agile software development has become very popular among software developers, [8]. According to [10], about 86% of companies around the world use agile methods. There is a long list of Agile software development methods: Crystal, Dynamic systems development methodology, Extreme programming, Feature-driven development, Kanban, Large-scale scrum, Lean software development, Nexus, Rapid application development, Scaled agile framework, Scrum, Scrumban, etc., [7]. DevOps (developments and operations) and CD/CI (Contiguous Delivery/Continuous integration) can be considered as advanced Agile methods, [7]. DevOps aims to enhance team collaboration and productivity by seamlessly integrating development and IT operations within an organization. It is the reconciliation of individuals, processes, practices, instruments, and innovation that empowers deployment in a fast and automated way. It primarily relies on the principle of collaboration between development and operations teams, between developers and testers. CI is a method of development in which members of a team frequently integrate their code (every day or even every hour). It depends mainly on automation tools for building and testing. CD relies on ensuring that code is always deployable, [5]. The list of DevOps and CD/CI tools is very long: Git, Maven, Jenkins, Puppet, Ansible, Docker, Kubernetes, Slack, CircleCI, Travis CI, Semaphore, Bamboo, GoCD, etc., [19], [12], [17], [6].

When choosing an appropriate software testing tool, it comes up on which type of testing (unit testing, integration testing) it is used for, and for which programming language. The desicion is not easy, sice one has to choose between numerous available tools like: Selenium, Cypress, Plawright, WebDriverIO, TestCafe, NightWatchJS, Appium, Cucumber, Junit, TestNG, Serenity, Selenide, Mockito, Spock, Jest, Mocha, Jasmine, Ava, Vitest, and many other, [3], [14], [23].

As this is only a small part of the endless list of programming languages, technologies, methodologies and approaches, one can easily understand that we have really too much choice. Learning all of them is an impossible mission, so everyone has to make a choice on its own. Making an appropriate choice can be a complex challenge which depends on several parameters. One of the parameters to be considered before making such a choice is the purpose of language and technology – it has to match with the desired job position and career. Another parameter to be considered is the popularity of the technology. But, according to the opinion of the author of this paper, the main parameter which matters is the ability to use the chosen programming language/framework or skill at the labour market.

## 3. IT LABOUR MARKET ANALYSIS

In the period June-August 2022, a set of 100 job advertisements taken from a popular labour market portal Infostud, [20] is analysed. As already mentioned in the Introduction, all the job advertisements were concerning to hire people from the city of Novi Sad. The results are as follows. The most common desired programming languages are given in Table 1.

**Table 1:** Desired programming languages

| Required group of programming languages | Frequency |
|---|---|
| JavaScript/React/Vue/Angular/Node/TypeScript etc. | 23.88% |
| Java/Kotlin | 14.93% |
| C/C++/C# | 14.18% |
| SQL | 22.39% |
| NoSQL | 9.70% |
| Python | 8.96% |
| WordPress/Drupal/Kentico/Contentful | 3.73% |
| PHP | 2.23% |

As we can see, the most desired programming language one should know is JavaScript or one of its libraries such as React, Vue, TypeScript, etc. But there is a difference in frequency of appearing various JavaScript libraries in job adverts. Table 2 shows the frequency of mentioning different JavaScript libraries as well as Vanilla JavaScript itself. As we can see, Vanilla JavaScript is most often mentioned in job adverts. Among its most desired libraries, the leading ones are React, Angular, TypeScript and Vue.js.

**Table 2:** Desired JavaScript library

| JavaScript library | Frequency |
|---|---|
| Vanilla JavaScript | 22.78% |
| React | 16.46% |
| React Native | 7.59% |
| Vue.js | 11.39% |
| Angular | 15.19% |
| TypeScript | 12.66% |
| Node.js | 6.33% |
| jQuery | 3.70% |
| Backbone.js | 1.27% |
| Next.js | 1.27% |
| Nest.js | 1.27% |

It is an interesting fact that in comparison to NoSQL databases, traditional SQL databases are twice as many mentioned in job advertisements. Considering CMS systems, the only required frameworks mentioned in the analysed job adverts were WordPress, Drupal, Kentico and

Contentful, but WordPress is the most desired one with the frequency of 62.5% of adverts considering CMS system knowledge, whereas each of the other three frameworks was mentioned in 12.5% advertisements.

When talking about desired web design technologies, they are represented with the following frequencies: HTML/CSS with 64.29%, SASS with 14.29%, LESS with 14.29%, and Bootstrap with 7.13%.

Android development is a desired skill in 11% of all advertisements. Among them, React Native is the most desired technology with 54.54%, 27.28% devotes to Java or Kotlin, and 18.18% to Flutter.

Software testing skills are mentioned as ‘must have’ on 22% analysed job adverts. Table 3 shows the frequency of different testing frameworks. As we can see from the given data, Jest and Mocha are the most desired testing frameworks. This is quite clear, since they are both testing environments for JavaScript, which is the most desired programming language. Moreover, all of the testing frameworks listed in the table except JUnit can be used for JavaScript testing. Some of the mentioned frameworks for JavaScript testing can be used for testing other languages, too. But all overall, 86.36% of job adverts requiring software testing skills are in connection with JavaScript.

**Table 3:** Desired software testing frameworks

| **Software testing framework** | **Frequency** |
|---|---|
| Selenium WebDriver | 12.50% |
| Cucumber | 12.50% |
| JMeter | 4.17% |
| Jest | 17.08% |
| Cypress | 12.50% |
| Mocha | 17.08% |
| JUnit | 12.50% |
| Jasmine | 12.50% |

Agile software development is a requirement in 34% analysed job advertisements. Table 4 shows the frequency of desired agile methods mentioned in job advertisements considering Agile methods. As we can see, Scrum is the most desired Agile software development method by employers in the analysed job advertisements. But as we can see, more than a half of all employers requiring the knowledge of Agile methodologies do not matter which agile methodology is to be used. Besides, in 20.59% advertisements seeking for employees who have experience with Agile software development, experience with the JIRA framework is mandatory, too.

**Table 4:** Agile software development methods

| **Agile development method** | **Frequency** |
|---|---|
| Scrum | 29.10% |
| Kanban | 11.76% |
| Extreme programming | 2.94% |
| Agile methodologies desired but not précised which one | 56.2% |

12% of all advertisements require the knowledge of cloud computing, among which 68.75 prefer Amazon Web Services, and 31.25% prefer Azure cloud. In the field of automation and integration the processes between software development and IT teams, DevOps and CD/CI processes appear in 14% of all job advertisements. The distribution of tools for automated deployment is as follows: Docker - 38.46%, Kubernetes – 38.46% and Jenkins -23.08%. The only version control system mentioned in all of the analysed adverts was Git. It was mentioned in 25% of all adverts.

Knowledge in the field of artificial intelligence and machine learning is mentioned in 3% of all advertisements. The same situation is in the field of search engine optimization. Advertisements concerning search engine optimization seek for employees having experience with SEMrush, Google Analytics and basic knowledge in statistics and data analysis. Knowledge of using REST and SOAP web services were required in 5% of all advertisements. 4% of all advertisements require skills in the field od game development, concerning knowledge of Maya, Unreal Engine and After Effects.

At the end, let us mention that 59% of all analysed advertisement offer remote working. Besides, 64% of all employers explicitly require fluent knowledge of the English language, written and spoken. Moreover, 92% of all advertisements are written in English, whereas only 8% of them are written in Serbian.

## 4. CONCLUSION

Nowadays, there are many similar programming languages having support and numerous tutorials available at the internet. In the ocean of new programming languages and services, any IT professional has to be aware about the desired technologies in order to be successful at the labour market. The labour market analysis presented in this paper was an attempt to help young programmers in this direction. Of course, the labour market changes rapidly, so similar analyses should be performed from time to time. As a result of this labour market analysis, additional training for students from the Higher Education Technical School of Professional Studies in Novi Sad in the area of version control system Git was organized, [15]. In addition, results of this analysis were taken into account when conducting curricula of subjects of the study programs Information technologies and Web design in the new accreditation cycle 2024-2030.

## 5. ACKNOWLEDGEMENT

Results of the labour market analysis presented in this paper are obtained within the project „Organization of virtual vocational practice in the IT sector - motivation, preparation and support for students for active participation", no. 42-451-2101/2022-02/1, financed by the Provincial Secretariat for Higher Education and Scientific Research. The author of this paper is grateful for this support.

## REFERENCES

[1] 15 Best and most popular CMS platforms in 2023 (Compared), (2023), https://www.wpbeginner.com/showcase/best-cms-platforms-compared/

[2] 15 BEST Version Control Software (Source Code Management Tools), (2023), https://www.softwaretestinghelp.com/version-control-software/

[3] Badkar A., Popular Test Automation Frameworks, (2023), https://www.browserstack.com/guide/best-test-automation-frameworks

[4] Baker S., 15+ Most Popular Programming Languages & Technologies to Know/Learn, (2022), https://arc.dev/developer-blog/popular-programming-languages-technologies/

[5] Bose S., Difference between CI and CD, Agile and DevOps, (2023), https://www.browserstack.com/guide/ci-cd-vs-agile-vs-devops

[6] Butch A., 20 Best DevOps Tools to Learn and Master In 2022: Git, Docker & More, (2023), https://www.simplilearn.com/tutorials/devops-tutorial/devops-tools

[7] Common agile development methodologies, (2023), https://www.aha.io/roadmapping/guide/agile/development-methodologies

[8] Eby K. What's the Difference? Agile vs Scrum vs Waterfall vs Kanban, (2017), https://www.smartsheet.com/agile-vs-scrum-vs-waterfall-vs-kanban

[9] Fitzgerald A., The 16 Best CMS Systems Today & How to Choose, (2022), https://blog.hubspot.com/website/best-cms-systems

[10] Flynn, J., 16 Amazing Agile Statistics [2023]: What Companies Use Agile Methodology, (2023), https://www.zippia.com/advice/agile-statistics/

[11] Gajić M., Od čega zavisi budućnost IT sektora u Srbiji?, (2020), https://talas.rs/2020/09/08/od-cega-zavisi-buducnost-it-sektora-u-srbiji/

[12] H. Seth, 38 Best CI/CD Tools For 2023, (2022), https://www.lambdatest.com/blog/best-ci-cd-tools/

[13] Hunter T., 18 New Programming Languages to Learn, (2023), https://builtin.com/software-engineering-perspectives/new-programming-languages

[14] Khan S., 13 Best Java Testing Frameworks For 2023, (2023), https://www.lambdatest.com/blog/best-java-testing-frameworks/

[15] Krunić T., Savić B., Tanović P., Obuka studenata za rad u popularnom alatu softverskog inženjerstva - sistemu za kontroluverzija git, (2023), 9. Konferencija sa međunarodnim učešćem Upravljanje znanjem i informatika, Kopaonik, ISBN 978-86-6211-143-2, pp.44-50, https://kmi.vtsns.edu.rs/KMI_2023/radovi/1-KMI_Informatika/7.pdf

[16] Kukić Z., Domaća IT industrija i zvanično najzdravija privredna grana Srbije, (2016), https://startit.rs/domaca-it-industrija-i-zvanicno-najzdravija-privredna-grana-srbije/

[17] Mohanan R., DevOps vs. Agile Methodology: Key Differences and Similarities, (2022), https://www.spiceworks.com/tech/devops/articles/devops-vs-agile/

[18] Obradović M., U 2021. izvoz IT sektora premašio poljoprivredu, (2021), https://www.danas.rs/vesti/ekonomija/u-2021-izvoz-it-sektora-premasio-poljoprivredu/

[19] Ortega R., Best CI/CD Tools for DevOps: A Review of the Top 10, (2023), https://bluelight.co/blog/best-ci-cd-tools

[20] Poslovi infostud, (2022), https://poslovi.infostud.com/

[21] Rawat A. S., Top 7 Cloud Computing Platform, (2021), https://www.analyticssteps.com/blogs/top-7-cloud-computing-platform

[22] Silicijumska dolina Srbije: Kako je Novi Sad postao centar IT industrije?, (2021), https://www.novosti.rs/srbija/vesti/1059953/silicijumska-dolina-srbije-kako-novi-sad-postao-centar-industrije

[23] Taleb M., JavaScript unit testing frameworks in 2022: A comparison, https://raygun.com/blog/javascript-unit-testing-frameworks/

[24] Top programming languages that will rule in 2023, (2023), https://fireart.studio/blog/top-programming-languages-that-will-rule-in-2021/

[25] Veeraraghavan S., Top 20 Best Programming Languages To Learn in 2023, (2023), https://www.simplilearn.com/best-programming-languages-start-learning-today-article

[26] Vlaović G., Prihod IT sektora 200 miliona evra, (2014), https://www.danas.rs/vesti/ekonomija/prihod-it-sektora-200-miliona-evra/

[27] Zekić S., (2022), Nije samo IT centar cele Srbije, već se polako pozicionira i na mapi sveta!, https://www.blic.rs/vesti/novi-sad/nije-samo-it-centar-cele-srbije-vec-se-polako-pozicionira-i-na-mapi-sveta-u-nas-grad/km41dt6

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА АПСТРАКТНИХ ТИПОВА У ПРОГРАМСКИМ ЈЕЗИЦИМА C, C# И PL/SQL

# IMPLEMENTATION OF ABSTRACT DATA TYPES IN PROGRAMMING LANGUAGES C, C#, AND PL/SQL.

ТАТЈАНА БАИЛОВИЋ[1], САША Д. ЛАЗАРЕВИЋ [1], ТАТЈАНА СТОЈАНОВИЋ [1]

[1] Универзитет у Београду - Факултет организационих наука, bailovict@gmail.com, {sasa.lazarevic, tatjana.stojanovic}@fon.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *У раду су предсављене имплементације апстрактних типова података у различитим програмским језицима у складу са могућностима које дати језици пружају. Истовремено изучавање и поређење различитих имплементација истих концепата који пружају могућност употребе свих предности које са собом доносе апстрактни типови података. Увид у значај и важност апстрактних типова података у превазилажењу многобројних проблема, као и њиховом утицају на развој сфтверског инжењерства.*

***Кључне речи:*** *Апстрактни тип податка, C, C#, PL/SQL, енкапсулација, интерфејс, полиморфизам, наслеђивање.*

***Abstract:*** *In this paper implementations of abstract data types in different programming languages, according to the capabilities provided by each language, are presented. Simultaneously exploring and comparing different implementations of the same concepts, which offer the possibility to leverage the advantages that abstract data types bring. It provides insights into the significance and importance of abstract data types in overcoming numerous problems, as well as their contribution to the development of software engineering.*

***Keywords:*** *ADT, C, C#, PL/SQL, encapsulation, interface, polymorphism, inheritance.*

---

## 1. УВОД

Апстракција података је метод којим се сакрива интерна репрезентација кориснички дефинисаних типова података, док се кориснику пружа само назив типа и скуп операција помоћу којих може мењати стања у којима се објекат датог типа налази, без потребе за познавањем и разумевањем његове имплементације, што уједно пружа и могућност измене имплементације апстрактог типа податка без ометања и измене рада корисника датог типа.

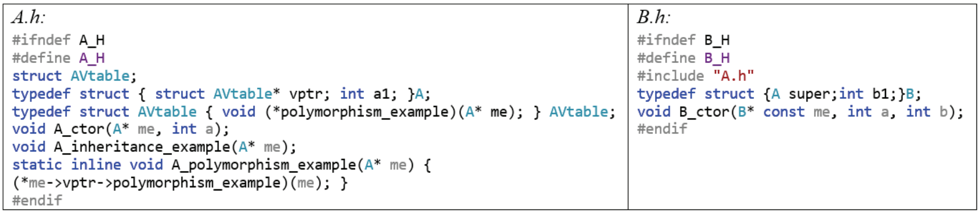
Појам апстрактног типа податка није нужно везан за објектно-оријентисане програмске језике, што ће у даљем раду бити и приказано.

## 2. ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА АПСТРАКТНИХ ТИПОВА

У овом поглављу биће истражене и кроз примере демонстриране могућности које различити програмски језици пружају као подршку имплементацији апстрактних типова података. Три програмска језика која ће бити приказана у овом раду, *C*, *C#* и *PL/SQL*, припадају различитим парадигмама, идеје о њиховом настанку и намени долазе из различитих области и проблематика, чак и њихове моменте настајања дели велики временски размак. Обзиром на све њихове различитости, један од циљева овог рада биће и њихово међусобно поређење по питању подршке имплементацији апстрактних типова података.

## 2.1. C програмски језик

Програмски језик *C* је процедурални језик, настао са фокусом на једноставност, брзину и висок степен контроле над хардверским ресурсима. Основни концепти објектно-оријентисаног програмирања нису су уграђени у синтаксу или стандардну библиотеку *C*-а. Разлог због кога *C* није објекто-оријентисан језик нису његове године, иако у годинама када је овај језик настајао идеја објекто-оријентисаног програмирња није била нашироко позната, он се временом могао надоградити у објекто-оријентисан језик, што није учињено. У циљу превазилажења ових недостатака и ограничења *C*-а настали су програмски језици *C++* и *Objective-C*. Упркос томе, у *C*-у је могуће имплементирати основне концепте објектно-оријентисаног програмирања, што ће бити приказано примером који следи.



*A.h:*

```c
#ifndef A_H
#define A_H
struct AVtable;
typedef struct { struct AVtable* vptr; int a1; }A;
typedef struct AVtable { void (*polymorphism_example)(A* me); } AVtable;
void A_ctor(A* me, int a);
void A_inheritance_example(A* me);
static inline void A_polymorphism_example(A* me) {
(*me->vptr->polymorphism_example)(me); }
#endif
```

*B.h:*

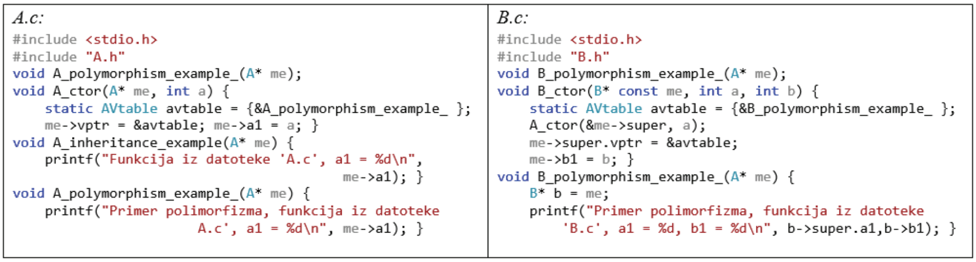
```c
#ifndef B_H
#define B_H
#include "A.h"
typedef struct {A super;int b1;}B;
void B_ctor(B* const me, int a, int b);
#endif
```

**Слика 1:** A.h и B.h датотека

Идеја је имплементирати надкласу *A* коју ће наследити класа *B*, али обзиром да *C* нема концепт класе, *A* и *B* ће бити имплементиране као структуре. Ради постизања полиморфизма и сличног понашања као код виртуелних метода у објектно-оријентисаним језицима биће коришћени показивачи на функције, који ће бити дефинисани у оквиру структуре *AVtable*, а класа *A* ће садржати показивач на ту структуру. Наслеђивање ће бити постигнуто тиме што структура *B* садржи структуру *A* као свој први члан, да би почетак структуре *A* био исти као и почетак структуре *B*, што тиме пружа могућност употребе показивача на структуру *B* за приступ члановима структуре *A* као да су чланови структуре *B*. У *.h* датотекама дат је интерфејс споменутих структура:

У *.h* датотекама дате су и декларације функција, где ће *A_ctor* и *B_ctor* служити као конструктори, *A_inheritance_example* као показни пример наслеђивања функције и *A_polymorphism_example* за демонстрацију полиморфизма.

Конструктори који се користе у објектно-оријентисаним језицима за постављање иницијалних вредности објеката не постоје у самом *C*-у па су ручно имплементирани као функције *A_ctor* и *B_ctor* и тек је у њима задато које имплементације “виртуелних” функција ће се користити за конкретан тип податка.



*A.c:*

```c
#include <stdio.h>
#include "A.h"
void A_polymorphism_example_(A* me);
void A_ctor(A* me, int a) {
    static AVtable avtable = {&A_polymorphism_example_ };
    me->vptr = &avtable; me->a1 = a; }
void A_inheritance_example(A* me) {
    printf("Funkcija iz datoteke 'A.c', a1 = %d\n",
                                          me->a1); }
void A_polymorphism_example_(A* me) {
    printf("Primer polimorfizma, funkcija iz datoteke
                          A.c', a1 = %d\n", me->a1); }
```

*B.c:*

```c
#include <stdio.h>
#include "B.h"
void B_polymorphism_example_(A* me);
void B_ctor(B* const me, int a, int b) {
    static AVtable avtable = {&B_polymorphism_example_ };
    A_ctor(&me->super, a);
    me->super.vptr = &avtable;
    me->b1 = b; }
void B_polymorphism_example_(A* me) {
    B* b = me;
    printf("Primer polimorfizma, funkcija iz datoteke
        'B.c', a1 = %d, b1 = %d\n", b->super.a1,b->b1); }
```

**Слика 2:** A.c и B.c датотеке

Имплементација декларисаних функција налази се у датотекама *A.c* и *B.c*.

Може се приметити и да функција *B_polymorphism_example_* у *B.c* датотеци као улазни параметар прима показивач на структуру *A* како би се уклопила у потпис функције који захтева *polymorphism_example* показивач на функцију из *AVtable* структуре дефинисане у *A.h* датотеци. Ово не представља проблем за саму имплементацију функције јер, као што је већ раније речено, показивач на *B* и *A* структуру је исти јер је структура *A* први члан структуре *B*, те се лако може кастовати помоћу једне линије кода *B* b = me;* написане на почетку саме функције.

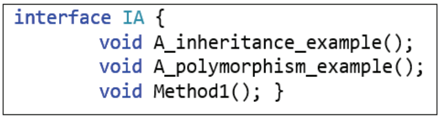
Такође, важно је уочити да се у оквиру *B_ctor* функције позива функција *A_ctor* како би се исправно поставиле иницијалне вредности и за структуру *A* унутар саме структуре *B*.

Понашање *A_polymorphism_example* функције ће се мењати у складу са прослеђеним параметром чиме се може уочити да је полиморфизам постигнут.

Оно што би причу о апстрактним типовима могло подићи на виши ниво јесу свакако генерички типови података који се као концепт јављају у објектно-оријентисаним језицима, а обзиром да *C* нема уграђену подршку за генеричке типове осмишљено је више техника за постизање таквог ефекта, неке од њих су употреба макроа и показивача на тип *void*.

## 2.2. C# програмски језик

Као објектно-оријентисан програмски језик *C#* има уграђене конструкције попут *class, interface, abstract class, virtual*, итд., које омогућавају основне механизме објектно-оријентисаног програмирања и помоћу којих се имплементирају апстрактни типови података.

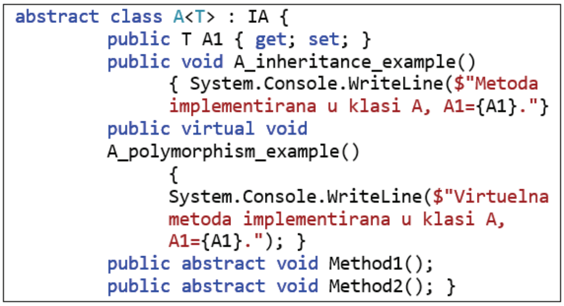


```
interface IA {
        void A_inheritance_example();
        void A_polymorphism_example();
        void Method1(); }
```

**Слика 3**: IA интерфејс

Пример приказан у одељку 2.1 биће приказан и овде, али имплементиран у програмском језику *C#* и са малим изменама, класа *A* ће у овом примеру бити апстрактна и генеричка. Класа *A* ће имплементирати интерфејс *IA* који изгледа:

Класа је дужна да имплементира све методе декларисане у интерфејсу који имплементира, те се интерфејс може тумачити као уговор које су дужне да испуне све класе које га имплементирају. Од верзије *C# 8.0* омогућена је подразумевана имплементација метода у самом интерфејсу, тако да, уколико класа сама не имплементира ту методу, користиће се њена имплементација задата у интерфејсу. Интерфејси, поред метода, могу садржати и декларације својстава, индексера и догађаја.

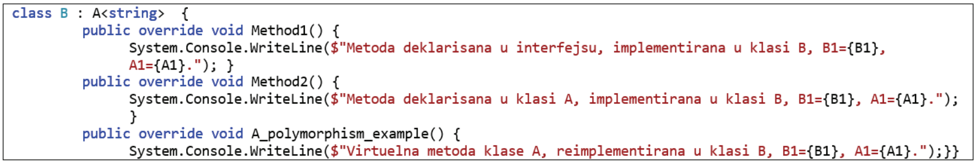


```
abstract class A<T> : IA {
        public T A1 { get; set; }
        public void A_inheritance_example()
              { System.Console.WriteLine($"Metoda
              implementirana u klasi A, A1={A1}."}
        public virtual void
        A_polymorphism_example()
              {
              System.Console.WriteLine($"Virtuelna
              metoda implementirana u klasi A,
              A1={A1}."); }
        public abstract void Method1();
        public abstract void Method2(); }
```

**Слика 4**: Апстрактна класа A

Обзиром да је речено да ће класа *A* бити апстрактна класа у њој се могу наћи апстрактне методе, односно методе које неће бити имплементиране, што самим тим значи да апстрактне класе не могу бити инстанциране, као и да класа *A* не мора имплементирати методе интерфејса, већ их може само означити као апстрактне.

Ознака *<T>* поред назива класе *A* указује да се ради о генеричкој класи. Генерички типови података омогућавају дефинисање класа, интерфејса, метода и делегата који могу радити са различитим типовима података, што повећава флексибилност и поновну употребу истог кода. Генеричке типове треба користити увек када је то могуће, а добар показатељ за то је *System.Collections.ArrayList* коју је из употребе готово избацила *System.Collections.Generic.List<T>* и која се данас одржава само због компатибилности. Најчешћи случајеви употребе генеричких типова су приликом креирања колекција. Могуће је увести и ограничења по питању тога који се типови података могу доделити генеричком типу. У класи *A* својство *A1* је типа *T*, што значи да га можемо мењати.



```
class B : A<string>  {
        public override void Method1() {
              System.Console.WriteLine($"Metoda deklarisana u interfejsu, implementirana u klasi B, B1={B1},
              A1={A1}."); }
        public override void Method2() {
              System.Console.WriteLine($"Metoda deklarisana u klasi A, implementirana u klasi B, B1={B1}, A1={A1}.");
              }
        public override void A_polymorphism_example() {
              System.Console.WriteLine($"Virtuelna metoda klase A, reimplementirana u klasi B, B1={B1}, A1={A1}.");}}
```

**Слика 5**: Класа B

*C#* методе нису виртуелне док се не означе као такве кључном речју *virtual*, као што је у примеру урађено са методом *A_polymorphism_example*, што пружа могућност реимплементације ове методе у класама које наслеђују класу *A* и на тај начин се обезбеђује полиморфизам.

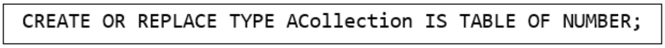
Класа *B* наслеђује класу *A* и зато је у обавези да имплементира све методе које до тада нису биле имплементиране и има могућност реимплементације методе *A_polymorphism_example*, што је и учињено, неопходно је овакве методе означити модификатором override.

Може се приметити да је за класу *B* својству *A1* додељен тип податка *string*.

## 2.3. PL/SQL програмски језик

*PL/SQL* је процедурални програмски језик, где се логика програма организује у блокове, процедуре и функције, специфичан за *Oracle* базу података. Иако није објектно-оријентисан програмски језик *PL/SQL* подржава у некој мери концепте енкапсулације, апстракција, наслеђивања и полиморфизма.

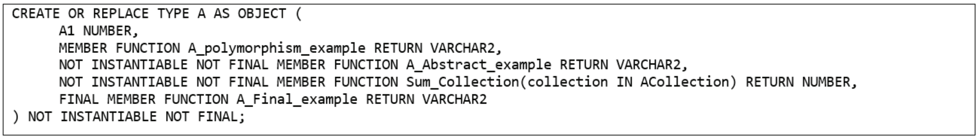
У *PL/SQL*-у апстрактни типови података се могу имплементирати помоћу апстрактних објектних типова и апстрактних колекција. Ови типови пружају могућност дефинисања општих структура података које могу бити наслеђене и прилагођене у конкретним имплементацијама.



```
CREATE OR REPLACE TYPE ACollection IS TABLE OF NUMBER;
```

**Слика 6:** Апстрактна колекција Acollection

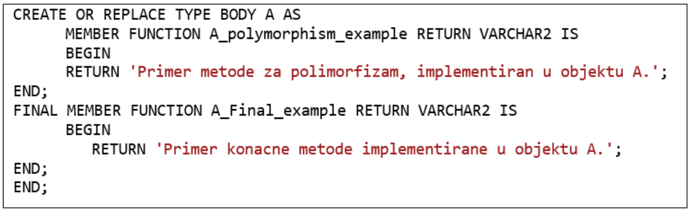
Пример приказан у претходним одељцима биће демонстриран и овде, имплементиран у програмском језику *PL/SQL*. У овом примеру биће приказана и апстрактна колекција, следећом линијом кода је дефинисана апстрактна колекција вредности типа *NUMBER*:



```
CREATE OR REPLACE TYPE A AS OBJECT (
      A1 NUMBER,
      MEMBER FUNCTION A_polymorphism_example RETURN VARCHAR2,
      NOT INSTANTIABLE NOT FINAL MEMBER FUNCTION A_Abstract_example RETURN VARCHAR2,
      NOT INSTANTIABLE NOT FINAL MEMBER FUNCTION Sum_Collection(collection IN ACollection) RETURN NUMBER,
      FINAL MEMBER FUNCTION A_Final_example RETURN VARCHAR2
) NOT INSTANTIABLE NOT FINAL;
```

**Слика 7:** Објектни тип A

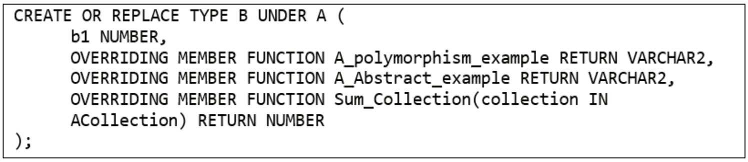
Објектни типови у *PL/SQL*-у се користе за дефинисање корисничких типова података и могу садржати атрибуте и методе, чиме се постиже одређени ниво енкапсулације. У примеру су креирана два објектна типа, *A* и *B*.



```
CREATE OR REPLACE TYPE BODY A AS
      MEMBER FUNCTION A_polymorphism_example RETURN VARCHAR2 IS
      BEGIN
      RETURN 'Primer metode za polimorfizam, implementiran u objektu A.';
END;
FINAL MEMBER FUNCTION A_Final_example RETURN VARCHAR2 IS
      BEGIN
         RETURN 'Primer konacne metode implementirane u objektu A.';
END;
END;
```

**Слика 8:** Имплементација објектног типа A

Кључне речи *NOT FINAL* и *NOT INSTANTIABLE* указују да објектни тип *A* може бити наслеђен и не може бити инстанциран. Исте кључе речи указују да су методе *A_Abstract_example* и *Sum_Collection* апстрактне. Кључна реч *FINAL* испред методе *A_Final_example* забрањује реимплементацију ове методе.

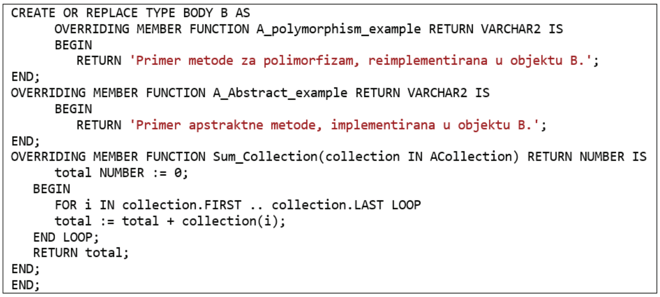


```
CREATE OR REPLACE TYPE B UNDER A (
      b1 NUMBER,
      OVERRIDING MEMBER FUNCTION A_polymorphism_example RETURN VARCHAR2,
      OVERRIDING MEMBER FUNCTION A_Abstract_example RETURN VARCHAR2,
      OVERRIDING MEMBER FUNCTION Sum_Collection(collection IN
      ACollection) RETURN NUMBER
);
```

**Слика 9:** Објектни тип B

У коду изнад приказана је имплементација метода објектног типа *A*.

Креиран је објектни тип *B* који наслеђује објектни тип *A*, при чему он има један свој атрибут и реимплементира методе *A_polymorphism_example*, *A_Abstract_example* и *Sum_Collection* наслеђене из објекта *A*. Важно је напоменути да у *PL/SQL*-у није могуће дубље наслеђивање, односно наслеђивање је ограничено само једним нивоом.



```
CREATE OR REPLACE TYPE BODY B AS
      OVERRIDING MEMBER FUNCTION A_polymorphism_example RETURN VARCHAR2 IS
      BEGIN
         RETURN 'Primer metode za polimorfizam, reimplementirana u objektu B.';
END;
OVERRIDING MEMBER FUNCTION A_Abstract_example RETURN VARCHAR2 IS
      BEGIN
         RETURN 'Primer apstraktne metode, implementirana u objektu B.';
END;
OVERRIDING MEMBER FUNCTION Sum_Collection(collection IN ACollection) RETURN NUMBER IS
      total NUMBER := 0;
   BEGIN
      FOR i IN collection.FIRST .. collection.LAST LOOP
      total := total + collection(i);
   END LOOP;
   RETURN total;
END;
END;
```

Слика 10: Имплементација објектног типа B

Наредним кодом извршена је имплементација метода *A_Abstract_example*, *Sum_Collection* и реимплементација методе *A_polymorphism_example*.

## 3. ДИСКУСИЈА

Ако би се поредио начин имплементације и подршка апстрактним типовима података коју пружа сваки од три представљена програмска језика у овом раду, морало би се рећи да је *C#*

најбоље развио механизме за реализацију ових концепата и да се са сваком новом верзијом *C#*-а они унапређују, што је и очекивано обзиром да је једини објектно-оријентисан језик. Рекло би се да је *C* по овом питању био најзахтевнији обзиром да нема никакву подршку, чак се и конструктори морају ручно куцати, за разлику од, на пример, *PL/SQL*-а са којим је много праведније поредити га. *C* је више заступљен у областима у којима је контрола над меморијом и хардвером јако важна, а додавање објектно-оријентисаних концепата би са собом донело додатне слојеве апстракције који у тим областима нису пожељни. *PL/SQL* са свим својим кључним речима које су једним делом описане у раду, али и свим другим које нису споменуте, представља заиста моћан алат који на једноставан и лако учљив начин пружа доста могућности за прилагођавање објектно-оријентисаном програмирању.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Концепт апстрактних типова података у великој мери је допринео развоју софтверског инжењерства као науке и одредио смер у коме ће се оно даље развијати. У прилог величини тог значаја иде и чињеница да су многи језици, који не долазе из објектно-оријентисане парадигме и нису првобитно настали са таквом идејом, омогућили и пронашли различите начине да пруже подршку имплементацији апстрактних типова података, што је показано и у овом раду. Такође се закључује да су у неким областима за решавање њихових проблема примарне другачије карактеристике, те да се у програмским језицима који су најчешће у таквим областима коришћени, концепти објектно-оријентисаног програмирања, па и самих апстрактних типова, подржани и имплементирани у оној мери која задовољава основне потребе.

Овај рад може да допринесе бољем разумевању концепта апстрактних типова података, као и предностима које њихова употреба пружа. Упознаје читаоца са различитим механизмима које има на располагању за имплементацију апстрактних типова података у различитим програмским језицима, а пружа и помоћ приликом одабира програмског језика за решавање конкретног проблема. Такође, може бити од помоћи у случају превођења програма са једног на други програмски језик.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Abstractions. (Abstract Types and Interfaces) (2021, септембар 15). Преузето са https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/standard/design-guidelines/abstractions-abstract-types-and-interfaces [Последњи приступ 29.5.2023]

[2] Generic classes and methods. (2022, март 18). Преузето са https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/fundamentals/types/generics [Последњи приступ 29.5.2023]

[3] Karman, A. (2019). Extreme C

[4] Nørmark, K. (2010). Object-oriented Programming in C# Department of Computer Science, Aalborg University, Denmark.

[5] Object-oriented programming (C#). (2023, јануар 3). Преузето са https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/fundamentals/tutorials/oop [Последњи приступ 29.5.2023]

[6] PL/SQL - Object Oriented. (n.d.). Преузето са https://www.tutorialspoint.com/plsql/plsql_object_oriented.htm [Последњи приступ 29.5.2023]

[7] Schreiner, A. (1994). Object Oriented Programming With ANSI-C

[8] SQL Object Types and References. (n.d.). Преузето са https://docs.oracle.com/en/database/oracle/oracle-database/21/adobj/Sql-object-types-and-references.html#GUID-A3B2A9BB-CFC7-43D6-AAA1-185D6C99F37E [Последњи приступ 29.5.2023]

# PIM COD - ПЛАТФОРМА ЗА ПРАЋЕЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈУ ИНВЕСТИЦИОНОГ ПРОЦЕСА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

# PIM COD - A PLATFORM FOR TRACKING AND OPTIMIZING THE CIVIL ENGINEERING INVESTMENT PROCESSES

Вукобрат Чедомир[1], Ђорђе Марчетин[1], Слободан Бегојев[1], Биљана Франић–Лазаревић[1], Димитрије Д. Чвокић
[1] W-ing Solutions d.o.o, Нови Сад, Србија, *pim@solutions.rs, vukobrat.cedomir@gmail.com, marcetin@gmail.com, bega021@gmail.com, bbiljana.franic@gmail.com*
[2] Универзитет у Бањој Луци, Бања Лука, Република Српска, БиХ*, dimitrije.cvokic@pmf.unibl.org*

---

***Резиме:*** *Пројекат дигитализације и оптимизације инвестиционог процеса у грађевинарству заснива се на постулатима модерног, економичног и делотворног пословања, где су повећање учинка, као и смањење утрошеног времена и повећање брзине деловања захтеви који се намећу пред привредне субјекте као последица неминовности промена које непрестано мењају тржиште у ери интернета и брзих комуникација. Представљена је платформа као основа за развој и континуирано унапређење алата који вишеструко олакшавају и убрзавају управљање инвестиционим пројектом, тако да се све интеракције одвијају у релном времену. Алати које PIM COD дигитална платформа (Property Investmanet Management Collabarion Digital Platform) обједињује, у многоме олакшавају остварење визије, обједињавањем садржаја који представљају неопходну сублимацију података из доступних јавних база и других расположивих извора у дигиталном свету. Поставка, рад и надзор се врши иницијално у централизованом окружењу, но омогућена је и интеграција са децентрализованим блокчејн-технологијама.*

***Кључне речи:*** *инвестициони процес, грађевинатство,ефикасност, софтверска платформа, блокчејн.*

***Abstract:*** *The project of digitization and optimization of the civil engineering investment process is based on the principles of modern, efficient, and effective business, where increasing productivity, reduced task time, and increasing speed of action are requirements that inevitably arise for economic entities as a consequence of the necessary changes that continuously transform the market in the era of internet and fast communications. We present a software platform as the foundation for the development and continuous improvement of tools that greatly facilitate and expedite investment project management, so that interactions take place in real-time. The tools that the PIM COD digital platform (Property Investment Management Collaboration Digital Platform) integrates, significantly facilitate realization of the vision by consolidating content that represents the necessary data sublimation from available public databases and other sources in the digital world. The setup, work, and monitoring is initially done in centralized environment, but we have also established the possible integration with the decentralized blockchain technologies.*

***Keywords:*** *investment process, civil engineering, efficiency, software platform, blockchain.*

---

## 1. УВОД

Пројекат дигитализације и оптимизације инвестиционог процеса у грађевинарству заснива се на постулатима модерног, економичног и делотворног пословања, где су повећање учинка, смањење утрошеног времена, као и повећање брзине деловања захтеви који се неминовно намећу пред привредне субјекте, као последица неминовности промена које непрестано мењају тржиште у добу интернета и брзих комуникација.[1,2] У овом раду представићемо *платформу PIM COD (Property Investmanet Management Collabarion Digital Platform)*, осмишљену као основу за развој и непрестано унапређење оруђа који олакшавају и убрзавају управљање инвестиционим пројектом, тако да се сва садејства одвијају у реалном времену, без непотребног расипања енергије и ресурса. Алати које она обједињује у многоме олакшавају остварење претходно поменуте визије. Резултат је дигитални запис са свим релевантним атрибутима материјалних ентитета кроз параметарско пројектовање. Укратко, циљ је развој софтвера који представља дигитални маркет ("трговину") услуга која ће објединити промет некретнина, букирање радника, манипулацију материјалом и временом, кроз технологију која би била базирана на на савременим *блокчејн-процедурама*. Овај процес подсећа на букинг за раднике, алате, машине, и слично. Платформа се може искористити за грађење *метаверзног света*[3] базираног на *DIN* стандарду,[4] за видео-игру у којој се гради дигитални свет, а да је ту исту игру могуће је искористити за градњу објеката у материјалном свету.[5]

Колико је познато ауторима овог рада, прва компанија која је кренула са оваквим идејама је била Monday.com, основана 2012. г., али фокус није био на грађевински домен, нити је платформа требала да буде интегрисана са блокчејном.[6] Кад је ријеч о грађевинском домену, аустријска компанија PlanRadar је изашла са својим рјешењем развијајући платформу за изградњу, руковођење и управљање некретнинама, али као ни Monday.com, тако ни она не посједује интеграцију са блокчејном (бар колико је то нама познато).[7]

У глави 2 укратко дајемо аргументацију која се тиче потребе за оваквом платформом. Глава 3 се односи на решења која нуди наша платформа, а глава 4 детаљније дочарава наш производ као информациони систем. У последњој глави 5, поред краће рекапитулације дати су неки даљи развојни кораци који су у плану.

## 2. ПОТРЕБА ЗА ДИГИТАЛИЗАЦИЈОМ И ОПТИМИЗАЦИЈОМ ИНВЕСТИЦИОНОГ ПРОЦЕСА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

Аргументација потребе за дигитализацијом и оптимизацијом инвестиционог пројекта у грађевинарству се може рашчланити на следеће ставке (слика 1): уштеда, одрживост, сигурност, транспарентност, визуелизација.

### 2.1. Уштеда

Смањење трошкова администрације, као и оптимизација других трошкова у инвестиционом процесу је у овом тренутку, немерљива категорија, узимајући у обзир да је процес инвестиционе изградње коришћењем платформе у потенцијалу, потпуно измештен из својих садашњих оквира, што конкретно значи, да се не може са сигурношћу предвидети уштеда у ресурсима и времену, али се са сигурошћу може тврдити да је та уштеда мултипликована. Уколико се информације прате путем информационог система, а интеракције остварују у реалном времену, брзина извођења пројекта је зависна искључиво од делотворности и учинковитости самих учесника, док су све друге баријере, укључујући и административна и временска ограничења која настају због потребе да се информације физички преносе, превазиђене. На пример, интеграција мобилне технологије подразумева опремање мобилних уређаја апликацијама за инстант приступ плановима пројекта, праћење тока инвестиционог пројекта,извештавање о проблемима прликом извођења и комуникацију са тимом у реалном времену, што омогућава ефикасно прикупљање података, елиминише папирологију и убрзава доношење одлука.

### 2.2. Одрживост

У последњих 10 година одрживост се кренула разматрати и из угла блокчејн-технологија.[8] Сви подаци смештају се на децентрализовани систем датотека Interplanetary File System (IPFS),[9] што омогућује заинтересованим странама да учествују у одржавању мреже. Улога заинтересованих субјеката у одржавању система се у најпростијем случају своди на покретање програма и дељење места на диску које ће се користити за складиштење података из система. Коришћењем *filecoin-протокола* (или неког сличног) постиже се да учесници у систему могу бити награђивани за уступање својих ресурса тако што би на основу протока и количине података добијали одређене количине алткоина (фаза 2 пројекта).[10] Платформа је тиме колаборациона, јер сваки корисник добија могућност ко-креације садржаја, тако да се она непрестано развија, кроз искуства и активности свих корисника.

**Слика 1:** Видови (димензије) потребе за дигиталном платформом.

## 2.2. Сигурност

Контрола приступа платформи и свим њеним опцијама врши се помоћу сертификата/ сигурносних полиса *Attribute-based Access Control (ABAC)*, а на основу предефинисаних додељених улога у систему, које се доказују на основу лиценци, сертификата, и дигиталних потписа (на пример: Инжењер, Професор, Извођач). На самој платформи, користимо све предности блокчејн-технологије у контексту потреба инвестиционог процеса, из угла сигурности (погледати [11]).

## 2.3. Транспарентност

Транспарентност представља могућност да се одређени записи (трансакције у општем смислу) на видљив и јасан начин представе и верификују са што мањом вјероватноћом (могућношћу) било какве корупције или злоупотребе података и информација. *Блокчејн-технологија* се природно наметнула као приступ решењу[11, 12] због потенцијала да осавремени различите аспекте индустријских процеса повећањем транспарентности, безбедности и ефикасности.

## 2.3. Визуелизација

Визуализација подразумева праћење тока инвестиције у реалном времну, у свим фазама инвестиционог пројекта, кроз документацију која се креира, попуњава, оверава и верификује у реалном времену од стране овлашћених корисника на платформи (на пример: инвеститор; пројектант; извођач; надзорник; добављач), што омогућује огромене уштеде времена и утрошка додатних услуга. Обухваћена је сва потребна документација, рецимо: атест, дневник, елаборат, изјава, извештај, књига радова, копија плана, овлашћење, потврда, препис, пријава, пројекат, пројектни задатак, протокол, рачун, решење, сагласност, ситуација, уговор, услови, уверење, захтев, записник и сл.

## 3. РЕШЕЊА КОЈЕ НУДИ ПЛАТФОРМА

Делови инвестиционог процеса (у зависности од класификације објекта), обухваћени кроз различита софтверска решења на обједињеној дигиталној PIM COD платформи су:

архитектура, конструкције, електроинсталације и додатни захтеви регулатора. Врсте радова обухваћене дигиталним софтверским решењем на обједињеној платформи су све врсте извођења (слика 2), укључујући адаптацију, санацију, реконструкцију, доградњу, новоградњу и промену намене објекта.

**Слика 2:** "Пирамида" врста радова.

Платформа служи за управљање читавим током инвестиционог пројекта обједињавањем доступних података за управљање информацијама, почев од фазе пројектовања, па све до његовог завршетка, односно сумирања искустава корисника у циљу даље надоградње самог система, и то: пројектовање (архитектура, грађевински радови електроинсталације), предмер и предрачун грађевинских радова, прикупљања и архивирања релевантне документације, прибављање одговарајућих дозвола и сагласности које прате изградњу и праћење регулаторних захтева, набавка материјала путем обједињеног маркета заинтересованих добављача, извођење, укључујући и књигу извођења радова, као и друге потребне елементе, калкулација коначног утрошка материјала са разликама у односу на иницијални предрачун, едукативни модул (кроз сублимацију искустава и регулаторних захтева).

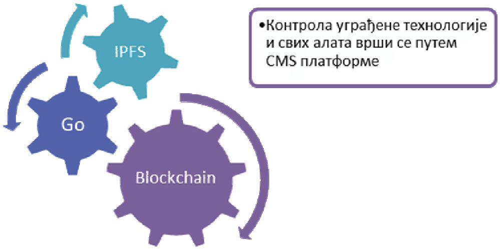
**Слика 3:** Дијаграм управљања током инвестиционог пројекта на платформи.

Пројекат у свом развоју има неколико инжењерских етапа:

- Развој Content Management System (CMS) колаборационе платформе, као основе за управљање различитим модулима и алатима имплементираним у систем;
- Идентификација корисничких профила уз креирање улога за све врсте корисничких профила путем валидације важећих цертификата и доделе права на основу корисничког профила;
- Приступ, коришћење и увезивање података институционалних база (геосрбија, АПР правна лица, коморе) у реалном времену;
- Развој стандардизованих докумената неопходних за реализацију инвестиционог пројекта, као и корисничког модела за развој прилагођених форми;
- Развој апликативних решења за сваку фазу инвестиционог процеса (предмер, калкулатор, CAD, главна свеска, итд.);
- Укључивање широког спектра различитих корисника (образовне институције, регулаторне агенције, законодавац, заинтересовани тржишни субјекти – добављачи материјала, стручна јавност) у вези са даљим развојем норматива који се користе за прорачун утрошка материјала и других трошкова у инвестиционом пројекту.

## 4. УКРАТКО О РЕАЛИЗАЦИЈИ И ПРИМЕНИ

Плаформа, посматрана као информациони систем, пројектована је тако да имплементира постојеће законе и правилнике задовољавајући како садржај, тако и форму. Ниједан део процеса не може наставити, уколико није верификован од стране сертификованих учесника, због коришћења *блокчејн-технологије*.



**Слика 4:** Идејно заснивање CMS-a.

Конкретније, систем осмишљен око *CMS-a*, тј. подсистема који уређује ток информација, контролу процеса, алгоритме, кориснике, извештаје и слично. За програмску/кодну реализацију је изабран *Go језик*, због своје намјене у системском програмирању и садржи аутоматско управљање меморијом као и функционалности за конкурентно програмирање инспирисане комуницирајућим секвенционим процесима. Такође, језик Go је популаран у блокчејн-заједници и кад је ријеч о развоју *IPFS-a*.[13] Што се тиче саме децентрализације у блокчејну, корисник система има *новчаник* тако да се праћење рада/трансакција токенизује. Сами корисници се налазе на *нивоу апликације* која представља тржиште људи, фирми, роба, енергената, и услуга.

Платформа садржи три различита модула који имају за циљ пружање комплетне информације о одређеном пословном ентитету у дигиталном или у материјалном свету:

- Први модул – временска оса „*timeline*" – представља прошлост и бележи активности које су се десиле.
- Други модул – „*локатор*" – односи се на садашњост и бележи локацију активности, односно позицију на дигиталној мапи на гугл-сервису.
- Трећи модул – „*калкулатор*" као будућност – где се у реалном времену може израчунати колико коштају одређени радови у грађевинарству. Програм омогућава промптну информацију о буџету за планирану активност, односно материјалу и алату који је потребан да би се активност извршила. Поред тога, програм генерише спецификације материјала и радова, норме и стандарде, техничке листове и описе радова и даје комплетну информацију о томе како се одређена активност извршава.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Један од најзначајнијих циљева дигитализације и оптимизације инвестиционог пројекта у грађевинарству је унапређење садејства и убрзање размене података између учесника инвестиционог процеса са предефинисаним улогама и стандардизованим функцијама, односно између: инвеститора (физичких и правних лица), пројектаната (архитектуре, електроинсталација, грађевинских радова), коопераната и сарадника (произвођача, трговаца, извођача радова), регулатора и других заинтересованих страна (државних органа, образовних институције, регулаторних агенција). Потпуна и благовремена информација о статусу било ког дела пројекта који се реализује преко представљене платформе PIM COD се ажурира у реалном времену, док се све промене уписују на блокчејн. Једна од кључних примена система је да се електонској управи испоручи сва потребна документација за реализацију инвестиционог процеса и то у реалном времену, без кашњења и непотребне манипулације подацима, односно непотребног губљења времена.

Даљи план развоја платформе укључује стварање криптовалутног монетарног екосистема везаног за платформу чиме би се формирала повратна спрега: монетарни систем обезбеђује цену саме платформе, а у исто време платформа даје покриће поменутом криптовалутном монетарном екосистему.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Laudon, K.C., Traver, C.G. E-commerce: Business, Technology, Society. Pearson Prentice Hall, Cornell University, 2009. ISDN 9780136007111

[2] Gerstner Jr., L.V. *et al.* (no date) *E-business*, *IBM100 - e-business*. Available at: https://www.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/ebusiness/transform/ (Accessed: 26 May 2023).

[3] Weber, M.J., Funk, A., Singh, R., Zhang, A. (2021). The Metaverse: Virtual Life Beyond the Internet. *Journal of Virtual Worlds Research,* 14(1), 1-23. doi: 10.4101/jvwr.v14i1.7775

[4] Blind, K., Jungmittag, A. (2005). Standardization and Innovation: Evidence from Germany's DIN Deutsches Institut fur Normung. Research Policy, 34(7), 965-984. doi: 10.1016/j.respol.2005.04.008

[5] Squire, K. (2012). Minecraft as a Tool for Learning: Insights and Opportunities for Educational Uses of Open World Games. *Educational Researcher*, 41(2), 79-85. doi: 10.3102/0013189x12436378

[6] Mann, R., Zinman, E. and Kampf, E. (no date) *A new way of working*, *monday.com*. Available at: https://monday.com/ (Accessed: 26 May 2023).

[7] PlanRadar Team (2023) *Construction and real estate management software*, *PlanRadar*. Available at: https://www.planradar.com/ (Accessed: 26 May 2023).

[8] Yun, J.J., Moon, J., Yun, J., Kim, J. (2019). Blockchain Technology for Enhancing Sustainability: A Systematic Review of Current Applications and Future Directions. *Sustainability*, 11(11), 3078. doi: 10.3390/su11113078

[9] Benet, J. (2014). IPFS - Content Addressed, Versioned, P2P File System. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 44(2), 661-662. doi: 10.1145/2656877.2656889

[10] Benet, J. (2018). Filecoin: A Decentralized Storage Network. *IPFS and Filecoin Research & Development Workshop*. doi: 10.5281/zenodo.1477314

[11] Pilkington, M. Blockchain Technology: Principles and Applications. Research Handbook on Digital Transformations, pp 225-253, 2016. doi: 10.4337/9781785360032.00017

[12] Polemitis, A., Ioannou, A. (2018). Blockchain Technology and Transparency. *Ledger Journal*, 3(1), 1-15. doi: 10.5195/ledger.2018.123

[13] Al Mazari, A.S., Tayeh, M., El-Sayed, H. (2020). Design and Implementation of a Blockchain Platform for Secure Sharing of Electronic Health Records Using Go Programing Language. *IEEE Access*, 8, 105871-105884. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2992495

# ИСТРАЖИВАЊЕ И РАЗВОЈ
# RESEARCH AND DEVELOPMENT

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# THE RELATIONSHIP BETWEEN DISCOVERY AND INNOVATION

DUŠAN RAJIĆ[1], OBRAD ČABARKAPA[2]

[1] University of Belgrade, Innovation Center of the Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade, Serbia,
drajic@tmf.bg.ac.rs
[2]Union University, Faculty of Project and Innovation Management, Belgrade, Serbia,
obrad.cabarkapa@gmail.com

---

***Abstract:*** *While the task of science is to discover new laws in nature and society, innovation solves technical problems. That is why these two areas are formally and legally separated. This results in the fact that discoveries often have no practical applicability, and innovations created by trial and error are on a low inventive level and marginal in the market. Therefore, the aim of this paper is to prove the need for integrated treatment of discovery and innovation within the same technical system (TS). This is exactly how inventology works. On a dialectical basis, it first finds the cause of the disorder in TS, and then, on the principle of similarity with it, seeks an adequate resource. Its introduction into TS leads to the elimination of the causes, and thus to the solution of the problem.*

***Keywords*****:** *Discovery, Innovation, Dialectics, Modeling, Heuristics.*

---

## 1. INTRODUCTION

Today, in the age of information, the method of trial and error is still used to solve many technical problems that are all around us [1-3]. Uninformed modern innovators use powerful computers to search various patent files and try to find a solution to their technical problem. Such attempts are doomed to failure in advance, because patents (legally protected innovations) are so skillfully written that they "protect everything, but reveal nothing." Patents contain the know-how that makes them difficult to exploit even after a period of protection of 20 years [4]. It was only in the second half of the 20th century that it became known that an efficient solution to technical problems could be achieved with the help of science. One of the pioneers in this endeavor was Altshuler. He studied hundreds of thousands of patents and found that innovations follow certain rules and laws. Thus he discovered the laws of evolution of technical systems (TS). In doing so, he developed a series of tools for the practical solution of technical problems and combined them under the name Theory of Solving Inventive Tasks (Russian abrr. TRIZ) [5]. Altshuler found that not every innovation is done with equal inventive value. He proposed five levels of inventiveness [3, 6]. The first level is the technical improvement of TS. The second level implies coming to an innovation by resolving technical contradictions (TC). The third level implies an innovation in which, in addition to solving the TC, there was a solution and physical contradiction (PC). The fourth level implies innovation which represents a significant technical-technological achievement based on science. The fifth level is the discovery of new phenomena and materials incorporated into innovation. Dozens of different TRIZ tools were created due to the need to use them to successfully solve various complex problems, which could not be solved with just one tool.

Completely independently of TRIZ, but also on a dialectical basis, the space-time LT system has been disclosed in order to solve technical problems [7]. This system encompasses the natural laws of physics and shows their interrelationship. Based on that system, the so-called Bartini's LT-table was created [8, 9] as a tool that enables finding solutions to technical problems. The main weakness of this tool is the lack of instructions for its practical application [10]. By critically reviewing the TRIZ and LT-systems, the spatial-temporal LT-matrix of contradictions was developed within the inventology [11]. It allows its user to find solutions for more than 3,000 different TCs that are hidden in technical problems. In addition, this tool enables qualitative and quantitative description (calculation) of the cause of a technical problem.

Therefore, the aim of this paper is to explain the nature of the connection between discovery and innovation and to propose an integrated model of science and innovation creation. Such a model should enable the creation of innovations with the 4th and 5th level of inventiveness. Such innovations should represent a scientific and technological breakthrough in the subject area to which they belong, and at the same time have a high market potential. With the generation of such innovations, further human prosperity is expected. Inventology studies the same technical problem on a dialectical, mathematical-physical and heuristic basis [2, 12 - 16]. The dialectical approach implies that there are contradictions at the root of every problem. The TC occurs when an attempt is made to improve one TS parameter which automatically leads to the deterioration of another, which is logically related to it. The PCs arise within the same subsystem and represent two extremes of the same physical property. It is considered that discovering and overcoming the TC and the PC solves the problem. The spatio-temporal LT-system and the tools derived from it, especially Bartini's LT-table and LT-matrix of contradictions, serve as an exact way to discover the cause of a technical problem. A multitude of TRIZ and inventology tools have been developed on a heuristic basis. All these tools are based on the empirical knowledge of innovators in the form of know-how which is extracted from patents as such.

The LT-matrix of contradictions consists of rows in which the dimensions of time T are given and columns in which the dimensions of length L are given. The parameter from the LT matrix to be corrected is marked with $x$, and the parameter that automatically deteriorates is marked with $y$. The following matrices are obtained [15 - 18]:

$$x = \begin{bmatrix} \mathrm{L}^{m1} & 0 \\ 0 & \mathrm{T}^{n1} \end{bmatrix} \quad ; \quad y = \begin{bmatrix} \mathrm{L}^{m2} & 0 \\ 0 & \mathrm{T}^{n2} \end{bmatrix} \tag{1}$$

## 2. CASE ANALYSIS

The example of aspirin or acetylsalicylic acid (Acidum acetylsalicylicum) (Fig. 1) as one of the best known nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) will show the link between the discovery of one of its side effects, which is the cause of a technical problem (discovery), and the innovation that is used to solve the problem. As a salicylate, aspirin is often used for mild pain, as an antipyretic (anti-fever) and against inflammation. In small doses, it acts as an anticoagulant (prevents blood clotting), so it is used in the secondary prevention of myocardial infarction [19].

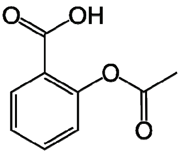


**Figure 1:** Structural formula of 2-acetoxybenzoic acid (aspirin)

The primary side effects of aspirin, especially at higher doses, are gastrointestinal pain (including ulcers and bleeding in the stomach) [20]. In the first phase of solving the mentioned technical problem, the goal is to discover the cause of that phenomenon on a mathematical-physical basis. Using the LT-contradiction matrix [11], the key parameter to be improved is selected. That parameter is no. 35 in the specified matrix and is called Partial or excessive action $\mathrm{L}^{10}\mathrm{T}^{-9}$ (excessive release of acid that damages the mucous membrane). Reduction of this secretion can be realized if a lower dose of the drug is used. Thus, there is a reduction or loss of the substance. That parameter is no. 53 in the LT-matrix of contradictions and is called Loss of substance $L^3T^{-1}$ [11]. Dividing these two parameters gives:

$$TC_{(x,-y)} = \frac{x}{y} = \begin{bmatrix} L^{10} & 0 \\ 0 & T^{-9} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} L^{3} & 0 \\ 0 & T^{-1} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} L^{7} & 0 \\ 0 & T^{-8} \end{bmatrix}. \tag{2}$$

The obtained result of the transformation of these two parameters is parameter no. 13 in the LT-matrix called Inertial Environment $L^7T^{-8}$ [11]. Therefore, an inert environment is necessary so that aspirin administered orally would not cause unwanted side effects in the form of mucosal damage. Based on the principle of similarity with the described cause of the problem, the search for the missing resource by which the problem is successfully overcome is started. Numerous heuristic sources are used. A study of the scientific literature found that enteric coatings were used for this purpose, as well as buffering. This technique prevents the concentration of aspirin on the walls of the stomach. For this purpose, MgO or $CaCO_3$ is added when making tablets. In addition to the above solution to the problem, the literature mentions that taking equal doses of vitamin C and aspirin reduces the degree of stomach damage [21]. Deglyrized licorice (DGL), an extract of the popular licorice plant, is known to help relieve the symptoms of gastritis. A 1979 study found that a dose of 350 mg of DGL reduced the amount of GI bleeding caused by 750 mg of aspirin [22]. A dose of 500 mg of S-adenosyl-methionine (SAM), an amino acid that occurs naturally in the body, given together with 1300 mg of aspirin reduces the amount of damage by 90% in one study [23]. It has also been established that intravenous injections of aspirin do not produce histological damage and do not damage the gastric mucosa [24]. All the above solutions can be considered quite good in the case of solving the described technical problem of mucosal damage caused by oral administration of aspirin. However, the ideal solution is chosen depending on the indication of the therapeutic use of aspirin.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

In order to gain a broader insight into the existence of a link between discovery and innovation, it is necessary to give a brief historical overview of the development of aspirin. As long ago as the 5th century BC, Hippocrates wrote about a bitter powder extracted from willow bark, the intake of which relieves pain and reduces fever. This medicine is also mentioned in writings from ancient Sumer, Egypt and Assyria. Native Americans used it for headaches, fevers, muscle aches and rheumatism. Edward Stone, a priest from England, observed in 1763 that willow bark was effective in relieving fever. This phase could be treated as a discovery by trial and error, and innovation at the 1st inventive level. The active bark extract, salicin, is so named by the Latin name for white willow (Salix alba). It was isolated in 1828 by the French pharmacist Henri Leroux, and the Italian chemist Raffaele Piria then managed to extract the acid in its pure form. Salicin is actually salicylic acid and is highly acidic when in a saturated solution with water (pH = 2.4). This chemical was also isolated by German researchers in 1839 from the flower meadowsweet (genus Filipendula, formerly classified as Spiraea). Although their extract was somewhat effective, it also caused digestive problems such as irritated stomach and diarrhea, and even death if consumed in large doses. This phase could be characterized as a discovery from which the innovation of the second level of inventiveness originated (Tab. 1). In 1897, a researcher from the Bayer company of Germany derivatized the hydroxyl functional group in salicylic acid with an acetyl group (forming acetyl ester), which greatly reduced the negative effects [25]. This was the first synthetic drug, not a copy of something that already existed in nature. This event marked the beginning of the development of the pharmaceutical industry. It is officially claimed that aspirin was developed by Felix Hoffman. However, Arthur Eichengrin claimed in 1949 that he planned and directed the synthesis of aspirin. This phase could be characterized as a discovery from which the innovation of the 3rd level of inventiveness originated (Tab. 1). Until the 1970s, the mechanism of action of aspirin and similar drugs was not lighted upon. The Nobel Prize-winning study of John Vane in 1971 found that aspirin suppressed the production of prostaglandin and thromboxane by irreversibly inhibiting cyclooxygenase, an enzyme involved in the production of prostaglandins and thromboxanes [26, 27]. The inhibitory effect is achieved by acetylation. Prostaglandins are local hormones, produced in the blood, and have various effects in the body, including the transmission of information about pain to the brain, modulation of the hypothalamic center for thermoregulation, inflammatory reactions, aggregation and disaggregation of platelets. Prostaglandins coat the mucous membranes, including the gastric mucosa. It is also associated with damage to the gastric mucosa during the use of acetylsalicylic acid, as well as other NSAIDs. Thromboxanes are responsible for the aggregation of platelets, which form blood clots, while prostaglandins produced by endothelial cells are responsible for their disaggregation. As cyclooxygenase in platelets is inhibited by lower doses of acetylsalicylic acid than the dose required inhibiting the enzyme in the endothelium, selective inhibition of the platelet enzyme is possible. This is the reason why acetylsalicylic acid preparations used in the secondary prevention of myocardial infarction, as a rule, contain smaller amounts of the substance than other NSAIDs. Heart attack is most often caused by blood clots, and their reduction by ingesting small amounts of aspirin is considered an effective medical intervention. A side effect of this is that the ability of the blood to clot generally decreases, but increased bleeding may occur. This phase could be characterized as a discovery from when innovation levels 4-5 originated (Tab. 1). Recent research has shown that there are at least two different types of cyclooxygenases: COX-1 and COX-2. COX-1 is responsible for the development of the inflammatory reaction, while COX-2 participates in the synthesis of prostaglandins in the gastric mucosa. Aspirin inhibits both. Newer drugs called COX-2 selective inhibitors have been developed to inhibit only COX-2, in the hope that this will reduce gastrointestinal side effects. However, several of these new types of drugs have been withdrawn as evidence has emerged that COX-2 inhibitors increase the risk of heart attack. Long-term use of aspirin in small doses irreversibly blocks the production of thromboxane A2 by platelets, which produces an inhibitory effect on platelet aggregation. It is used in the secondary prevention of myocardial infarction. Medicines containing 100 mg of acetylsalicylic acid have been registered in Serbia for this purpose. High doses of aspirin are also given immediately after an acute heart attack. When realizing the innovation as a medicine based on acetylsalicylic acid, it was necessary to apply various additives that would reduce the harmful effects on the gastrointestinal tract. Since this innovation developed various formulations that contained only aspirin or were combinations of aspirin with ascorbic acid (vitamin C) or a combination of aspirin with paracetamol and caffeine, such innovations contained the 2nd or 3rd inventive level. However, since aspirin exhibited a number of other side effects, such as Ray's syndrome in children and others, some other NSAIDs began to push it off the market, proving to be equally effective, but with less pronounced harmful side effects. If Wayne had not clarified the true mechanism of action of this drug 100 years after its appearance, it would probably have fallen into oblivion. However, with his discovery, aspirin gained a new therapeutic application in the prevention of the stroke and heart attack and regained its value and fame on the market (Tab. 1).

**Table 1:** The relationship between discovery and innovation on the example of acetylsalicylic acid

| Discovery | Innovation | Inventive level (1-5) | Therapeutic area |
|---|---|---|---|
| Powder extracted from willow bark | Tea | 1 | Headache, fever, muscle aches, rheumatism |
| Synthesis of acetyl salicylic acid | Pills | 2-3 | Mild to moderate pain, febrile conditions and rheumatic diseases |
| The mechanism of action of aspirin is explained | Pills (100-300 mg) | 4-5 | Prevention of stroke and heart attack |

From the described example, it is obvious that there is a natural connection between discovery and innovation, which is why it is necessary to generally base innovation work on science. The connection between the discovery and the inventive level of the invention has also been confirmed.

The greater the scientific contribution, the greater the inventive innovation that results from it. Thus, only 1% of innovations were developed with the 5th inventive level [3], which is expected.

## 4. CONCLUSIONS

Within inventology, innovative creation is based on natural physical laws (mathematical modeling) and the laws of TS evolution (heuristics), and they are united by the observation of a technical problem as a unique dialectical problem.

Dialectics and mathematical modeling help to discover the cause of the problem, and heuristics help to find the necessary resource on the principle of similarity with the cause of the problem. The measure of the ideality of the resulting problem depends on the level of similarity between the cause of the problem and the resources with which it is eliminated. This information can be expressed in a quantitative way. It was found that there is a proportional correlation between the scientific contribution in the form of a discovery and the inventive level contained in the innovation that resulted from that discovery.

No methodology used to solve technical problems, including inventology, is good enough to find lasting solutions to all technical problems. It is necessary that work in this field is continued, because it is a process that requires continuous upgrading in accordance with the development of science and technology in the future.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (Contract No. 451-03-47/2023-01/200287).

## REFERENCES

[1] Rajić, D., Kamberović, Ž. i Žakula, B. (2016). *Kreativni inženjering*, Beograd, IC TMF, ISBN 978-86-919829-0-4.

[2] Rajić, D. (2017). *Inventologija*, Beograd, Autorsko izdanje, ISBN 978-86-920593-2-2.

[3] Rajic, D. (2019). Inventive Level as a Basis for the Assessment of Scientific Contribution of Inventors. *FME Transactions,* , 47(1), 76-82. https://doi.10.5937/fmet1901076R.

[4] Marković, S. (1997). *Patentno pravo*, Beograd, Nomos, ISBN 86-419-01-73-6.

[5] Altshuler, G. S. (2004). *Finding Ideas, Introduction to the Theory of Solutions of Problems of Invention*, Petrozavodsk, Skandinaviya.

[6] Rajić, D., Čabarkapa, O. i Šarboh, S. (2017). Procena naučnog doprinosa Nikole Tesle na osnovu kriterijuma inventivnosti njegovih pronalazaka. *Inovacijama do održivog razvoja*, Beograd, Fakultet za primenjeni menadžment, ekonomiju i finansije, 528-537, ISBN: 978-86-84531-30-0.

[7] Bolshakov, B. E. and Petrov, A. E. (2017). Algoritm of Multi-dimenzional Space and Time Values Interrelation the in System of LT Dimension Coordinates by B. Brown, R. O. Bartini, P. G. Kuznetsov. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, , 12(3), 6620-6627. https://doi.10.36478/jeasci.2017.6620.6627.

[8] Bartini, R. (2005). Relations between Physical Constants, *Progress in Physics*, *3*, 34-40.

[9] Bartini, R. O. and Kuznetsov, P. G. (1978). On the Multiplicity of Geometries and the Multiplicities of Physical Sciences. *Problems and Features of Modern Scientific Methodology*, 55–65.

[10] Rajic, D. (2020). Compatibility between TRIZ - contradiction matrix and LT-unit system. *FME Transactions,* , 48(2), 460-467. https://doi. 10.5937/fme2002460R.

[11] Rajic, D. (2021). LT – Contradiction Matrix, *FME Transactions,* 49(1), 95-102, https://doi.10.5937/fme2101095R.

[12] Rajić, D. (2019). *Eko-inventologija*, Beograd, Autorsko izdanje, ISBN 978-86-920593-4-6.

[13] Rajic, D. (2019). Innovative synergism as a result of TRIZ and LT-system synthesis. In book: *Innovation as an Initiator of the Development "Innovations - Development Prospects", International Thematic Monograph - Thematic Proceedings*, Belgrade, Publisher: University Business Academy in Novi Sad, Faculty of Applied Management, Economy and Finance, 226-242. ISBN 978-86-84531-45-4.

[14] Rajic, D. (2020). Application of LT-Contradiction Matrix in Innovation Development. In book: *Innovation as an Initiator of the Development "Innovations - Development Prospects", International Thematic Monograph - Thematic Proceedings*. Belgrade, Publisher: University Business Academy in Novi Sad, Faculty of Applied Management, Economy and Finance, 329-346. ISBN: 978-86-81123-83-6.

[15] Rajic, D. (2021). Mathematical – Physical Model of Solving Inventive Problems. *FME Transactions,* 49(3), 726-733. https://doi.10.5937/fme2103726R.

[16] Rajic, D. (2021). Ecological LT-contradiction matrix, *MEFkon 2021, Innovation as an Initiator of the Development, „Innovation in the Function of Development"*, Belgrade, Serbia, 473-482. ISBN 978-86-84531-55-3.

[17] Бушуев, А. Б. (2015). Поиск количественных оценок ресурсов в базисе Бартини. *Сборник докладов международной конференции "ТРИЗ: практика применения и проблемы развития"* (Москва, 20-21ноября 2015г.), С. 221-225.

[18] Bushuev, A. (2017). General Problems of Metrology and Measurement Technique. Numerical Estimation of the Energy Information Circuits of Measurement Devices. *Measurement Techniques,* 60(9), 857-862. https://doi.org/10.1007/s11018-017-1283-3.

[19] Brunton, L., Lazo, J. and Parker, K. (2005). *Goodman & Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics*, New York, McGraw-Hill, ISBN 0071422803.

[20] Sørensen, H. T., Mellemkjaer, L., Blot, W. J., Nielsen, G. L., Steffensen, F. H., McLaughlin, J. K. and Olsen, J. H. (2000). Risk of upper gastrointestinal bleeding associated with use of low -dose aspirin. *Am. J. Gastroenterol.* 95 (9): 2218-24. PMID 11007221. https://doi.10.1111/j.1572-0241.2000.02248.

[21] Dammann, H. G., Saleki, M., Torz, M., Shulz, H-U., Krupp, S., Schurer, M. and Timm, J., Gessner, U. (2004). Effects of buffered and plain acetylsalicylic acid formulations with and without ascorbic acid on gastric mucosa in healthy subjects. *Aliment Pharmacol Ther.*, 19(3): 367—74.

[22] Rees, W. D., Rhodes, J., Wright, J. E., Stamford, L. F. and Bennett, A. (1979). „Effect of deglycyrrhinizinated liquorice on gastric mucosal damage by aspirin". *Scand J Gastroenterol.* , 14(5): 605-07. https://doi.10.3109/00365527909181397.

[23] Laudanno, O. M., Finkelstein, D. and Capdepon, E. (1984). Prostaglandin E1 (misoprostol) and S-adenosylmethionine in the prevention of hemorrhagic gastritis induced by aspirin in the human. Endoscopic, histologic and histochemical study. *Acta Gastroenterol Latinoam.* 14(4): 289-93. PMID:6399655.

[24] Ivey, K. J., Paone, D. B. and Krause, W. J. (1980). Acute effect of systemic aspirin on gastric mucosa in man, *Digestive Diseases and Sciences.*, 25, 97-99. https://doi.10.1007/BF01308304.

[25] Sneader, W. (2000). The discovery of aspirin: A reappraisal. *BMJ (Clinical research ed.)*, 321 (7276): 1591-1594. https://doi.org/10.1136/bmj.321.7276.1591.

[26] Vane, J. R. (1971). Inhibition of prostaglandin synthesis as a mechanism of action for aspirin -like drugs. *Nature - New Biology.* , 231 (25): 232-235. https://doi.org/10.1038/newbio231232a0.

[27] Vane, J. R. and Botting, R. M. (2003). The mechanism of action of aspirin. *Thromb Res.* , 110 (5–6): 255-258. https://doi.10.1016/s0049-3848(03)00379-7.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПОЖЕЉНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ МЕНАЏЕРА И ЛИДЕРА – УПОРЕДНИ ПРИКАЗ

# DESIRED CHARACTERISTICS OF MANAGERS AND LEADERS – COMPARATIVE DISPLAY

ОБРАД ЧАБАРКАПА[1], ДУШАН РАЈИЋ[2], ЉИЉАНА БЕРЕЗЉЕВ[1] СИНИША ЧАБАРКАПА[3]

[1] Факултет за пројектни и иновациони менаџмент, Београд, Србија, obrad.cabarkapa@gmail.com
[2] Универзитет у Београду, Иновациони Центар ТМФ, Београд, Србија, drajic@tmf.bg.ac.rs
[3] Управа за буџет и финансије, Министарство одбране, Србија, sinisacabarkapa@yahoo.com

---

***Резиме:*** *На било ком организацијском нивоу, како од менаџера тако и од лидера, се очекује да поседују одређене карактеристике (ставови, особине, знања, вештине, психичка квалификованост и др.), како би одговорили изазовима. Од менаџера се очекује да поседује и лидерске способности, у погледу својих размишљања и поступања. У погледу пожељних карактеристика менаџера и лидера праве се разлике у њиховом рангирању. У овом раду дата је упоредна анализа пожељних особина и знања менаџера и лидера, добијена на основу реализованог истраживања са студентима завршних година Основних и Мастер студија. Истраживањем је обухваћен узорак од двеста осамдесет седам студената, који су по свом мишљењу, рангирали пожељне особине, као и области пожељних знања посебно за менаџера а посебно за лидера. Након обраде резултата, дошло се до закључка о рангу пожељних особина и знања за менаџера и за лидера.*

***Кључне речи:*** *менаџер, лидер, особине менаџера, особине лидера, знања менаџера, знања лидера.*

***Abstract:*** *At any organizational level, both managers and leaders are expected to possess certain characteristics (attitudes, traits, knowledge, skills, psychological qualifications, etc.) in order to respond to challenges. Managers are expected to have leadership skills in terms of their thinking and actions. Regarding the desirable characteristics of managers and leaders, differences are made in their ranking. This paper provides a comparative analysis of the desirable qualities and knowledge of managers and leaders, obtained on the basis of research conducted with students in the final years of Basic and Master studies. The research included a sample of two hundred and eighty-seven students, who, in their opinion, ranked the desirable qualities, as well as the areas of desirable knowledge especially for a manager and especially for a leader. After processing the results, a conclusion was reached on the rank of desirable qualities and knowledge for a manager and a leader.*

***Keywords:*** *manager, leader, qualities of managers, qualities of leaders, knowledge of managers, knowledge of leaders.*

---

## 1. УВОД

Менаџер на челу неке организације је централна фигура у управљању том организацијом. Он организује, усмерава, координира, интегрише рад свих запослених у организацији, решава проблеме и конфликте, и даје задатке, све у циљу ефикасног постизања стратегијских циљева организације. Од менаџера се, поред основних одлика (одржава прописано, контролише, ради добро, ...), очекује да у свом деловању манифестује и одлике лидера (развија људе, улива поверење, иде „испред догађаја“). Менаџер треба да ужива велики лични ауторитет и моћ и да је у стању да успешно обавља све функције и процесе менаџмента (планирање, организовање, кадровање, вођење, контролисање, координисање, додељивање задатака). Осим наведеног од менаџера се захтева да проблеме може брзо да уочава, сагледава широко и дубоко а при томе брзо дијагностицира и одваја битно од небитног и да се кроз систем креће ефикасно. За сваког менаџера је пожељно да поседује лидерске способности [1].

Лидерство је процес у коме појединац – лидер остварује утицај на групу, у погледу постављања циљева, стандарда и приоритета. Лидер треба на основу анализе ситуације и способности следбеника (компетентност и посвећеност), да одабере адекватан стил лидерства, како би дефинисао и остварио циљеве организације у датом тренутку. Од стране лидера се очекује да имају одређене особине и да располажу потребним знањима, што их квалификује за лидерску позицију у погледу формулисања стратегије као и дефинисања и примене мисије при реализацији планских послова из надлежности организације.

И од менаџера и од лидера се очекује да поседују одређене компетенције (ставови, особине, знања, вештине, психичка квалификованост и др.) како би, свако на свој начин одговорио изазовима, који се пред њима постављају. Наравно, захтеване компетенције треба још више да дођу до изражаја у посебним условима (нпр. кризним ситуацијама) [2].

Сваки лидер треба да поседује потребне елементе, са посебним фокусом на његову улогу у постизању пословне изврсности унутар организације [3].

## 2. ПОЖЕЉНЕ ОСОБИНЕ И ЗНАЊА МЕНАЏЕРА

Менаџерско односно лидерско управљање захтева компетентне професионалце. Компетентност се дефинише као способност обављања посла. Компетенције чине знања и вештине. Менаџери морају улагати у знање и вештине те отварати видике како би били способни управљати подређенима, те деловати у промењивом окружењу. Подразумева се да је менаџер на стратешком нивоу, компетентан да поставља смернице за постизање циљева, тј. да успешно проводи врло захтевну функцију стратешког планирања, која захтева много различитих ресурса, како би се створила одржива стратегија за будућност организације. Неопходна је потреба за интегрисаним концептом стратешког управљања у организацијама са циљем стварања нових идеја, подстицања иновативних процеса, преноса и успостављања нових технологија [4, 5, 6].

У свом раду, од менаџера се очекује да испољи своје особине и знања. Поставља се питање које су то особине и знања? Делимичан одговор на ово питање, покушали смо да дамо кроз реализовано истраживање са будућим менаџерима, студентима завршних година Основних и Мастер студија на Факултету за пројектни и иновациони менаџмент “Проф. др Петар Јовановић” у Београду. Истраживање је реализовано на узорку од двеста осамдесет седам студената. Њихов задатак је био да рангирају десет пожељних особина знања менаџера, тако да на прво место ставе најпожељнију особину односно знање, односно особину и знање која би требала да има највећи изражени интензитет и тако редом до десете.

Након прикупљених и обрађених података, на основу појединачно исказаних рангирања добијен је коначан ранг пожељних особина и знања менаџера. На исти начин обрађени су резултати и за особине и знања лидера. Резултати се приказују табеларно[1] где се у делу табеле који се односи на позицију – појединачни ранг, уносе подаци о рангираним особинама исказаним од стране испитаника (студената). Што је већа позиција, то је ранг већи (позиција 1, дакле прво место, носи ранг 10, итд.). У другом делу табеле дати су подаци који се односе на математичку обраду добијених резултата (∑fi, xifi, Prosek), где су на крају рангиране пожељне особине.

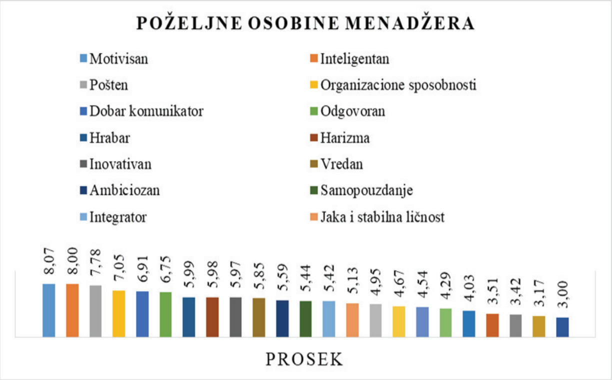
На основу коначног ранга, да се закључити да су код менаџера, најпожељније следеће особине: да је мотивисан; да је интелигентан; да је поштен; затим да поседује добре организационе способности; да је добар комуникатор и да је одговоран. Затим следе особине код којих се коначан ранг мало разликује (да је храбар, да поседује харизму, да је

---

[1] Због ограниченог простора овде се не даје табеларни приказ обраде резултата

иновативан, да је вредан, да је амбициозан, да поседује самопоуздање, да је интегратор и да је јака и стабилна личност), све су у распону просека од 5,13 до 5,99. И на крају су рангиране оне особине које су са мањим укупним просеком, тако да је на задњем месту рангирана пожељна особина агресивност за коју је, што је интересантно, пет студената навело, као пожељну на осмом месту.

На слици 1, дат је графички приказ пожељних особина менаџера.



**Слика 1.** Графички приказ пожељних особина менаџера

На исти начин као и за особине, рангиране су најпожељније области знања менаџера. На основу коначног ранга, дошло се до закључка да су код менаџера најпожељније следеће области знања: из планирања, управљања, организације посла и вођења кадрова. Интересантно, да су на високом петом месту рангирана знања из области вештине преговарања. Затим следе знања код којих се коначан ранг мало разликује (из области маркетинга, деловања тржишта, пословне економије, тржишне конкуренције, технологије и финансија), све су у распону просека од 5,08 до 5,92. Такође, да се приметити да је јако мали број испитаника као пожељна навео знања из области Заштите интелектуалне својине, јер су у коначно рангу тек на петнаестом месту. Ово указује на чињеницу да је свест о потреби заштите интелектуалне својине још увек на ниском нивоу, јер студент нису упознати са потребним знањима из ове области.

## 3. ПОЖЕЉНЕ ОСОБИНЕ И ЗНАЊА ЛИДЕРА

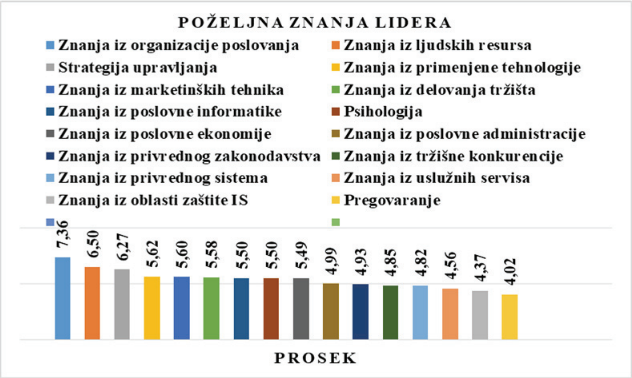
Знање у савременом пословању постаје основни развојни ресурс, међутим исто могу примењивати само мотивисани људски ресурси. Запосленима је потребна организациона способност трансформационог лидерства. Трансформациони лидери су увек спремни на прихватање и прилагођавање променама. Савремени економски услови, које карактеришу турбулентне промене, намећу потребу за лидерством као средством опстанка и организационог развоја. Лидерство се заснива на визији како преживети и победити промене. Постоје бројна опречна мишљења када је у питању лидерство, поготово дефинисање карактеристика особе која је створена или предодређена за лидера. Лидерство не произилази из његовог формалног ауторитета, већ из његове душе [7-10].

У теорији и пракси управљања присутни су бројни различити приступи класификацији знања која треба да поседује менаџер односно лидер, а то су техничка, хуманистичка и концепцијска знања. У зависности од тренутне ситуације у којој се организација налази, лидер треба да се прилагоди датој ситуацији, одабиром одговарајућег стила „ситуационог лидерства“ [11].

Од лидера, без обзира где се он налази у хијерархијској структури неке организације, се очекује да испољи своје особине, које ће допринети успешном извршавању утврђених задатака и остварењу постављених стратегијских циљева дате организације.

На основу коначног ранга, дошло се до закључка да су код лидера најпожељније следеће особине: на првом месту да је визионар; на другом и трећем са истим рангом, да је јака и стабилна личност и да поседује самопоуздање; потом да је добар комуникатор; да поседује харизму; да је иновативан. Затим следе особине код којих се коначан ранг мало разликује (способност да инспирише и подстиче; флексибилност; неустрашивост; организационе способности; емпатичност; предан послу; висока интелигенција; да преузима одговорност; креативност), све су у распону просека од 5,62 до 5,28. И на крају су рангиране оне особине које су са мањим укупним просеком, и то: ентузијаста; етичност и позитиван став.

На слици 2, дат је графички приказ пожељних области знања лидера.



**Слика 2.** Графички приказ пожељних области знања лидера

На основу коначног ранга, да се закључити да су код лидера, са веома високим рангом, најпожељније следеће три области знања: из организације пословања, из области људских ресурса и из стратегије управљања. Затим следе знања из појединих области код којих се коначан ранг мало разликује (примењене технологије; маркетиншких техника; деловања тржишта; пословне информатике; психологије; пословне економије; пословне администрације; привредног законодавства; тржишне конкуренције; привредног система и услужних сервиса).

Такође, да се приметити да је јако мали број испитаника као пожељна знања лидера, навео поседовања знања из области Заштите интелектуалне својине2, јер су у коначном рангу тек на петнаестом месту, док су на последењем месту потребна знања из области преговарања. Ово указује на чињеницу да је свест о потреби заштите интелектуалне својине на веома ниском нивоу, јер студенти нису упознати са значајем поседовања знања из ове области. **Високорангирана пожељна особина лидера да буде иновативан је у супротности са скоро задњерангираним пожељним знањем из области Заштите интелектуалне својине.** Иновативан лидер, свакако треба да зна пут до реализације своје иновације. На одређеном делу тог пута, он треба да заштити иновацију – као интелектуалну својину организације или личну, чиме поред остваривања постављених циљева, директно доприноси повећању њене вредности. О потреби да се област

---

[2] Интересантно је да се као пожељно знање из ове области нашло међу последњим и код менаџера и код лидера. Разлог за овако добијене резултате је непознавање, боље рећи неизучавање садржаја из ове области на свим нивоима студија. Сматрамо да се знања из ове области не би ни појавила међу пожељним, чак ни на скоро задњем месту, да у току предавања студентима, ван предвиђеног наставног плана и програма, није одржано информативно предавање из ове области. Намеће се као закључак, да је неопходно што пре, у наставне планове и програме, планирати у одређеној форми, изучавање ове области.

заштите интелектуалне својине изучава на свим нивоима студија а посебно на факултетима где се изучава област техничко-технолошких наука, економских и правних наука у више наврата је предлагано у ранијем периоду [12].

## 4. ЗАКЉУЧАК

Познато је, да би се неко квалификовао за улогу лидера, неопходно је да поседује потребне карактеристике. Од великог броја карактеристика, као веома битне издвајају се: психичка квалификованост, ментална стабилност и снага, лични ставови, особине и знања. У зависности од тренутне ситуације у којој се организација налази, менаџер односно лидер треба да се прилагоди датој ситуацији, одабиром одговарајућег стила „ситуационог лидерства“. У сваком тренутку, лидер треба да познаје своје следбенике у погледу њихових компетенција и посвећености и на основу комбинације ових карактеристика да примени адекватан стил лидерства. У оваквим ситуацијама, до посебног изражаја треба да дођу његове особине и знања.

Поставило се питање: Које су то пожељне особине и знања које треба да поседује неко лице, да би био квалификован за менаџерску односно лидерску позицију у организацији? Да би се дошло до одговора на ово питање, реализовано је истраживање на узорку од двесто осамдесет седам студената, који се школују за будуће менаџере. Дошло се до следећих закључака:

1) Као најпожељније особине лидер би требао да: буде визионар, је јака и стабилна личност, поседује самопоуздање, је добар комуникатор, поседује харизму, је иновативан. За менаџера најпожељније особине су: да је мотивисан; да је интелигентан; да је поштен; затим да поседује добре организационе способности; да је добар комуникатор и да је одговоран. Као високорангирана пожељна особина и код менаџера и лидера нашла се способност комуницирања, што је и очекивано.

2) Као најпожељнија знања, лидер би требао да поседује знања из следећих области: организације пословања, људских ресурса и стратегије управљања. За менаџера најпожељнија су знања из области: планирања, управљања, организације посла и вођења кадрова. И код менаџера и код лидера, међу три најпожељније области поседовања знања, нашли су се знања из организације и управљања.

3) На скоро последњем месту су се нашла пожељна знања из области Заштите интелектуалне својине, што указује да студенти, будући менаџери не поседују свест на потребном нивоу о значају ове области.

4) Високорангирана пожељна особина лидера да буде иновативан је у супротности са скоро задњерангираним пожељним знањем из области Заштите интелектуалне својине.

Иако није био примарни циљ, до кога се требало доћи овим истраживањем, као додатни закључак намеће се потреба да на свим нивоима студија треба размотрити потребу да се у одређеној форми изучава област “Заштите интелектуалне својине”.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Чабаркапа, О., Танчић, Љ. и Андрејић, М. (2020). Савремене компетенције менаџера на стратешком нивоу. Зборник радова XXIV Интернационалног Конгреса из управљања пројектима „Hibridni projektni menadžment: imperativ budućnosti”, Београд – 2020.

[2] Чабаркапа, О., Остојић, Б., Стојановић, С. и Миковић, Р. (2022). Пожељне карактеристике меаџера за управљање у кризним ситуацијама. XXVI Међународни конгрес из управљања пројектима „Izazovi projektnog upravljanja u postkriznom društvu”, Beograd - 2022.

[3] Пуношевац, З. (2013). LEADER AND BUSINESS EXCELLENCE. Journal: Trendovi u poslovanju, Issue Year: 1/2013. Issue No: 2, str. 17-22.

[4] Вуковић, М., Урошевић, С. и Младеновић Ранисављевић, И. (2021). Contemporary business communication from the management standpoint, BizInfo (Blace) Journal of Economics, Management and Informatics *Vol. 12 No. 2 (2021).*

[5] Бошњак, Ј. (2019). STRATEGIC PLANNING IN CORRELATION WITH INTERNAL AUDIT. Beograd: European Project Management Journal, Vol. 9, Issue 2, December 2019.

[6] Мосуровић Ружичић, М., Обрадовић, В. и Доброта, М. (2019). INTEGRATED CONCEPT OF STRATEGIC MANAGEMENT AS A TOOL FOR EFFECTIVE TECHNOLOGY TRANSFER IN R&D ORGANISATIONS. Beograd: European Project Management Journal, Volume 9, Issue 2, December 2019.

[7] Илић, Б., Стефановић, В. и Жикић, С. (2020). Специфичности лидерства у туризму са циљем успешног пословног процеса, Megatrend revija Vol 17, br. 1, 2020, str. 89-108.

[8] Трајковић, С., Добричин, С. и Ђокић, Н. (2010). Лидерство у условима савременог техничког окружења, Journal: Anali međunarodne konferencije mladih, br. 1, 2010, str. 433-440.

[9] Хабић, В. и Булатовић, Д. (2016). Улога лидера у управљању стратешким променама. Poslovni konsultant, 2016, Vol 8 Issue 57, str. 53-60.

[10] Шеховић, А. (2014). Предузетник као лидер бизнисас. Ekonomski izazovi, br. 6, str 154-165.

[11] Андрејић, М. и Чабаркапа, О. (2021). Водич за тимски рад и менторство – приручник за упућене и оне који то желе да постану. Република Србија. Академска мисао, ISBN 978-86-7466-889-4. Београд - 2021.

[12] Чабаркапа, О. (2010). Информисаност студената Војне академије о области заштите интелектуалне својине. Војнотехнички гласник бр. 2/2010, str. 53-70.

# ЛОГИСТИКА И ЛАНЦИ СНАБДЕВАЊА

# LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

# LOKACIJSKI MODEL INTERDIKCIJE SA PRIMENOM U ZDRAVSTVENOM SISTEMU

# AN INTERDICTION LOCATION MODEL WITH IMPLEMENTATION IN HEALTH SYSTEM

BRANKA DIMITRIJEVIĆ[1], PREDRAG GROZDANOVIĆ[1], BRANISLAVA RATKOVIĆ[1], MILOŠ NIKOLIĆ[1],

[1] Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, {b.dimitrijevic, p.grozdanovic, b.ratkovic, m.nikolic}@sf.bg.ac.rs

---

***Rezime:*** *U slučaju raznih poremećaja u funkcionisanju zdravstvenog sistema dolazi do potrebe za njegovom reorganizacijom u što kraćem vremenu, a sa ciljem da posledice poremećaja budu što manje po korisnike. U tom smislu, u ovom radu predložen je lokacijski model koji se bavi identifikovanjem najugroženijih objekata u zdravstevnom sistemu, kao i preraspodelom korisnika koji su se opsluživali u objektima pogođenim poremećajem. Cilj modela je da napravi plan preraspodele korisnika tako da oni pređu najmanje rastojanje kako bi bili opsluženi, odnosno dobili zahtevanu zdravstvenu uslugu. Predloženi lokacijski model je testiran na realnom primeru zdravstvenog sistema Vojvodine, na 50 instanci, tj. 50 različitih varijanti poremećaja.*

***Ključne reči:*** *zdravstevni sistem, lokacijski problem, poremećaji*

***Abstract:*** *In the case of various disruptions in the functioning of the health system, there is a need for its reorganization in the shortest possible time, with the aim of minimizing the consequences of the disruptions. In this paper we proposed location model which identifies the most vulnerable facilities in the system, as well as redistributing users who were served in facilities affected by the disruption. The goal of the model is to create a plan to redistribute users so that they travel the least distance to be served. The proposed model was tested on a real example of the health system of Vojvodina, on 50 instances, i.e. 50 different disruption cases.*

***Keywords:*** *health system, facility location problem, disruptions*

## 1. UVOD

Pravilno funkcionisanje zdravstvenog sistema jedne države od krucijalnog je značaja za njene građane. Pored dobre organizacije zdravstvenog sistema u normalnim uslovima, važno je imati brz i efikasan odgovor na nepredvidive poremećaje unutar tog sistema. Ovi poremećaji mogu biti posledica prirodnih katastrofa (zemljotresi, poplave, pandemije itd) ili antropogenih (najčešće teroristički napadi). Nažalost, u poslednje vreme sve češći smo svedoci ovakvih događaja. Iako zdravstvene ustanove igraju ključnu ulogu u odgovoru na terorističke napade, one takođe mogu biti i „lake mete“ zbog svoje pristupačnosti i ograničene bezbednosti. U periodu od 1970. do 2018. godine izvršen je 901 napad na zdravstvene objekte u 74 različite zemlje [2]. Učestalost napada na zdravstvene ustanove je u porastu, imajući u vidu da se 57% ovih napada dogodilo nakon 2001. godine [2].

U slučaju raznih prirodnih nepogoda, terorističkih napada ili drugih razloga poremećaja može doći do otkaza jednog ili više objekata u zdravstvenom sistemu, odnosno njihovog zatvaranja. U tom smislu jedan od pravaca delovanja može biti identifikacija najugroženijih objekata, njihova zaštita, ali i pravljenje strategije kako da se kada dođe do otkaza, u što kraćem roku, stanovnici pogođeni poremećajem preraspodele na što bolji način na preostale funkcionalne objekte u sistemu, odnosno da im se omogući zdravstvena usluga u prihvatljivom vremenskom roku.

U ovom radu je razvijen lokacijski model *r*-interdikcije koji identifikuje *r* najugroženijih objekata zdravstvenog sistema u kome postoji hijerarhija medicinskih objekata na dva nivoa i pravi plan preraspodele korisnika alociranih na te objekte, sa ciljem minimizacije ukupnog pređenog rastojanja za krajnje korisnike koji zahtevaju zdravstvenu uslugu, a pogođeni su poremećajem. .

U literaturi se mogu naći opšte formulacije lokacijskih problema $r$-interdikcije i radovi sa primenama u različitim oblastima [7]. U radu [4] predstavljena su dva prvobitna opšta modela $r$-interdikcije koja se koriste za identifikaciju najosetljivijih objekata na mreži: u formi medijane ($r$-Interdiction Median Problem – $r$-IMP) i pokrivanja ($r$-Interdiction Covering Problem – $r$-ICP). Oba modela identifikuju skup objekata za dati sistem koji ako prestanu da funkcionišu najnepovoljnije utiču na pružanje usluge u sistemu. Autori su u radu [3] nadogradili $r$-IMP u model na dva nivoa kod koga se na jednom nivou identifikuju najugroženiji objekti, a na drugom se određuju objekti koje treba zaštiti u slučaju poremećaja ($r$-Interdiction Median Problem with Fortification – $r$-IMPF).

Na osnovu pretrage referentne literature ispostavilo da su jedino u radu [1] autori predstavili modifikovani $r$-IMPF prilagođen modeliranju zdravstvenog sistema. Oni su posmatrali zdravstveni sistem u kome postoji hijerarhija na dva nivoa medicinskih objekata, razvrstanih u skladu sa tipovima usluga koje ti objekti pružaju, kao što je slučaj i u modelu predstavljenom u ovom radu.

U nastavku rad je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju dat je opis problema koji je modeliran, kao i njegova matematička formulacija. Razvijeni model je zatim testiran na realnim podacima i rezultati testiranja su prikazani u trećem poglavlju. Na kraju rada data su zaključna razmatranja.

## 2. OPIS PROBLEMA I MATEMATIČKA FORMULACIJA

Problem posmatran u ovom radu inspirisan je funkcionisanjem medicinskog sistema u kome se objekti za pružanje medicinskih usluga mogu razvrstati u dva nivoa hijerarhije (nivo 1 i 2). Na prvom nivou su ambulante (domovi zdravlja), a na drugom nivou bolnice. Ambulante pružaju I tip usluge, dok bolnice pružaju viši nivo usluge (lečenja, hirurške intervencije itd.) označen kao II tip.

Po pravilu korisnici prvo odlaze u ambulante gde najčešće i zadovoljavaju svoje potrebe dobijajući usluge I tipa. Ukoliko se ispostavi da korisniku treba viši nivo usluge, biće upućen u bolnicu koja pruža zahtevanu uslugu II tipa. Korisnik može i direktno otići u bolnicu, ukoliko postoji urgentna potreba za II tipom usluga. U ovom radu polazi se od pretpostavke da je poznat procenat korisnika koji direktno odlaze u bolnice po uslugu II tipa, dok svi ostali korisnici odlaze prvo u ambulantu gde dobijaju usluge I tipa, odakle se izvestan procenat njih upućuje u bolnice gde će dobiti II tip usluge. Svi korisnici su prema nekom ključu raspodeljeni po ambulantama, odnosno bolnicama (npr. administrativna podela), tj. svaki korisnik je alociran tačno jednoj ambulanti i jednoj bolnici. U ovako koncipiranom zdravstvenom sistemu, cilj je da se pored identifikovanja najugroženijih objekata, u slučaju prestanka rada nekog od objekta, bilo na nivou 1 i/ili 2, korisnici koji su se u njima opsluživali preraspodele u druge (funkcionalne) objekte tako da dobiju željenu uslugu prelazeći što manje rastojanje.

U nastavku je data uvedena notacija koja je korišćena prilikom modeliranja opisanog problema, predstavljene promenljive, a zatim je prikazana i objašnjena matematička formulacija.

Notacija:

$I$ – skup zona u kojima se nalaze korisnici, predstavljenih njihovim centrima
$i$ – indeks zona korisnika
$w_i$ – potražnja (broj korisnika) u zoni $i \in I$
$S_1$ – skup ambulanti
$j,l$ – indeksi ambulanti iz skupa $S_1$
$S_2$ – skup bolnica
$k,h$ – indeksi bolnica iz skupa $S_2$
$d_{ij}^{1}$ – najkraće rastojanje od korisnika $i \in I$ do ambulante $j \in S_1$
$d_{ik}^{2}$ – najkraće rastojanje od korisnika $i \in I$ do bolnice $k \in S_2$
$d_{jk}^{3}$ – najkraće rastojanje od ambulante $j \in S_1$ do bolnice $k \in S_2$

$T_j^1$ – skup korisnika $i \in I$ administrativno dodeljenih ambulanti $j \in S_1$
$T_k^2$ – skup korisnika $i \in I$ administrativno dodeljenih bolnici $k \in S_2$
$T_k^3$ – skup ambulanti $j \in S_1$ administrativno dodeljenih bolnici $k \in S_2$
$R_1$ – najveće rastojanje između korisnika i ambulante na mreži
$R_2$ – najveće rastojanje između korisnika i bolnice na mreži
$R_3$ – najveće rastojanje između ambulante i bolnice na mreži
$r_1$ – broj ambulanti koje mogu otkazati
$r_2$ – broj bolnica koje mogu otkazati
$\varphi$ – udeo korisnika koji direktno potražuju uslugu II tipa u bolnicama
$\Theta$ – udeo korisnika koji se iz ambulanti upućuju u bolnice
$M$ – velika pozitivna vrednost

Promenljive:

$q_{ij}^1$ – broj korisnika u zoni $i \in I$ koji potražuju uslugu I tipa u ambulanti $j \in S_1$
$q_{ik}^2$ – broj korisnika u zoni $i \in I$ koji direktno potražuju uslugu II tipa u bolnici $k \in S_2$
$q_{jk}^3$ – broj korisnika koji se iz ambulante $j \in S_1$ upućuju u bolnicu $k \in S_2$

$$y_j^1 = \begin{cases} 1, \text{ako je objekat } j \in S_1 \text{ van funkcije} \\ 0, \text{u suprotnom} \end{cases}$$

$$y_k^2 = \begin{cases} 1, \text{ako je objekat } k \in S_2 \text{ van funkcije} \\ 0, \text{u suprotnom} \end{cases}$$

Matematička formulacija se može napisati na sledeći način:

$$F = max \sum_{j \in S_1} \sum_{i \in I \setminus T_j^1} (R_1 - d_{ij}^1) q_{ij}^1 + \sum_{k \in S_2} \sum_{i \in I \setminus T_k^2} (R_2 - d_{ik}^2) q_{ik}^2 + \sum_{k \in S_2} \sum_{j \in S_1 \setminus T_k^3} (R_3 - d_{jk}^3) q_{jk}^3 \tag{1}$$

pri ograničenjima

$$\sum_{j \in S_1} q_{ij}^1 = (1 - \varphi) w_i, \quad \forall i \in I \tag{2}$$

$$\sum_{k \in S_2} q_{ik}^2 = \varphi w_i, \quad \forall i \in I \tag{3}$$

$$\sum_{k \in S_2} q_{jk}^3 = \Theta \sum_{i \in I} q_{ij}^1, \quad \forall j \in S_1 \tag{4}$$

$$\sum_{j \in S_1} y_j^1 = r_1 \tag{5}$$

$$\sum_{k \in S_2} y_k^2 = r_2 \tag{6}$$

$$\sum_{\substack{l \in S_1 \\ l \neq j}} q_{il}^1 \leq M y_j^1, \quad \forall j \in S_1, \forall i \in T_j^1 \tag{7}$$

$$\sum_{\substack{h \in S_2 \\ h \neq k}} q_{ih}^2 \leq M y_k^2, \quad \forall k \in S_2, \forall i \in T_k^2 \tag{8}$$

$$\sum_{\substack{h \in S_2 \\ h \neq k}} q_{jh}^3 \leq M y_k^2, \quad \forall k \in S_2, \forall j \in T_k^3 \tag{9}$$

$$q_{ij}^1 \leq M\left(1 - y_j^1\right), \quad \forall i \in I, \forall j \in S_1 \tag{10}$$

$$q_{ik}^2 \leq M(1 - y_k^2), \quad \forall i \in I, \forall k \in S_2 \tag{11}$$

$$q_{jk}^3 \leq M(1 - y_k^2), \quad \forall j \in S_1, \forall k \in S_2 \tag{12}$$

$$y_j^1, y_k^2 \in \{0,1\}, \quad \forall j \in S_1, \forall k \in S_2 \tag{13}$$

$$q_{ij}^1, q_{ik}^2, q_{jk}^3 \geq 0, \quad \forall i \in I, \forall j \in S_1, \forall k \in S_2 \tag{14}$$

Ciljna funkcija (1), definisana na jedan interesantan način, maksimizira najveće moguće nepređeno rastojanje svih korisnika zahvaćenih poremećajem, čime se istovremeno teži ugrožavanju objekata sa najvećim brojem korisnika (što je cilj interdiktora) i preraspodeli korisnika koji su njima administrativno pridruženi u najbliže objekte koji su funkcionalni (maksimizacijom njihovog ukupnog najvećeg mogućeg nepređenog rastojanja, kao pandan minimizaciji pređenog rastojanja, što je cilj zdravstvenog sistema, koji se u formulacijama prisutnim u literaturi realizuje kroz niz dodatnih ograničenja). Prva komponenta u (1) uzima u obzir broj korisnika pogođenih poremećajem i njihovo najveće moguće nepređeno rastojanje koje se računa kao razlika između najvećeg rastojanja na relaciji korisnici-ambulante ($R_1$) i stvarnog rastojanja koje korisnik prelazi do ambulante u koju je preraspodeljen nakon otkaza pripadajuće mu ambulante. Druga i treća komponenta po istom principu uzimaju u obzir broj korisnika pogođenih poremećajem koji direktno potražuju uslugu II tipa, odnosno bivaju upućeni iz ambulante u bolnicu i nepređena rastojanja na relaciji korisnici-bolnice, odnosno ambulante-bolnice. Ograničenja (2) i (3) obezbeđuju da svi korisnici dobiju tražene usluge I tipa u ambulantama, odnosno II tipa u bolnicama. Ograničenja (4) obezbeđuju da određeni udeo korisnika ($\Theta$), nakon dobijanja I tipa usluge u ambulantama bude upućen na dobijanje II tipa usluge u bolnicama. Ograničenja (5) i (6) definišu da interdiktor izbacuje iz sistema tačno $r_1$ ambulanti i $r_2$ bolnica. Ograničenja (7)-(9) obezbeđuju da se korisnici opslužuju u objektima kako su administrativno raspodeljeni ukoliko oni nisu van funkcije, u suprotnom preraspodeljuju se na preostale objekte. Ograničenja (7) se odnose na ambulante, a ograničenja (8) i (9) na bolnice. Ograničenja (10)-(12) sprečavaju postojanje toka do objekata koji su van funkcije. Konačno, definicija promenljivih je data ograničenjima (13) i (14).

## 3. NUMERIČKI PRIMER

Predloženi hijerarhijski lokacijski model interdikcije testiran je na realnom primeru zdravstvenog sistema Vojvodine. Na teritoriji Vojvodine postoji 45 opština i one su korisničke zone. Korisnici iz korisničkih zona su agregirani u centrima opština – gradovima po kojima nose naziv. Uzeto je da je broj korisnika po zonama jednak broju stanovnika u njima [6], dok su podaci o rastojanju na relaciji korisnici-ambulante, korisnici-bolnice i ambulante-bolnice dobijeni pomoću aplikacije Google Mape [5].

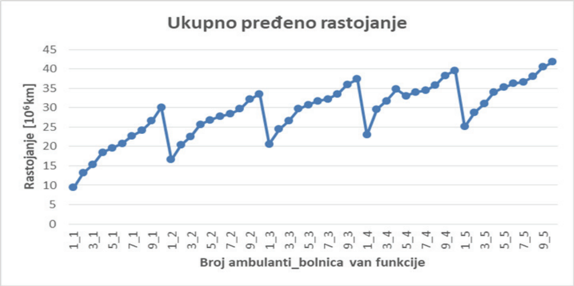
U svakoj opštini nalazi se ambulanta koja opslužuje korisnike koji žive u toj opštini. Uslugu II tipa pruža 10 bolnica čije su lokacije prikazane u tabeli 1, kao i korisnici koje one opslužuju prema administrativnoj podeli. U normalnim uslovima funkcionisanja sistema, korisnici moraju da poštuju administrativnu podelu, odnosno svaki korisnik je alociran tačno jednoj ambulanti i jednoj bolnici.

Model je testiran na 50 instanci, odnosno različitih varijanti ispada objekata iz sistema, počev od jedne ambulante i jedne bolnice van funkcije, pa do deset ambulanti i pet bolnica. Pretpostavljeno je da se 10% korisnika nakon dobijanja usluge u ambulanti upućuje u bolnicu ($\Theta$=0,1), dok 20% korisnika odlazi direktno u bolnice ($\varphi$=0,2).

Sa slike 1 se može videti kako se ukupno pređeno rastojanje povećava sa brojem objekata van funkcije. Takođe, treba napomenuti da vreme rada računara varira od instance do instance i kreće se od 0,1s do 0,45s.

**Tabela 1:** Administrativna raspodela korisnika po bolnicama

| **Bolnice** | **Korisnici** |
|---|---|
| Subotica | Subotica, Bačka Topola, Mali Iđoš |
| Sombor | Sombor, Apatin, Kula, Odžaci |
| Novi Sad | Novi Sad, Bač, Beočin, Bečej, Žabalj, Titel, Sremski Karlovci |
| Vrbas | Vrbas, Bačka Palanka, Bački Petrovac, Vrbas, Srbobran |
| Kikinda | Kikinda, Novi Kneževac, Čoka |
| Senta | Senta, Ada, Kanjiža |
| Zrenjanin | Zrenjanin, Žitište, Nova Crnja, Novi Bečej, Sečanj |
| Vršac | Vršac, Bela Crkva, Plandište |
| Pančevo | Pančevo, Alibunar, Kovačica, Kovin, Opovo |
| Sremska Mitrovica | Sremska Mitrovica, Inđija, Irig, Pećinci, Ruma, Stara Pazova, Šid |



**Slika 1:** Ukupno pređeno rastojanje na 50 instanci

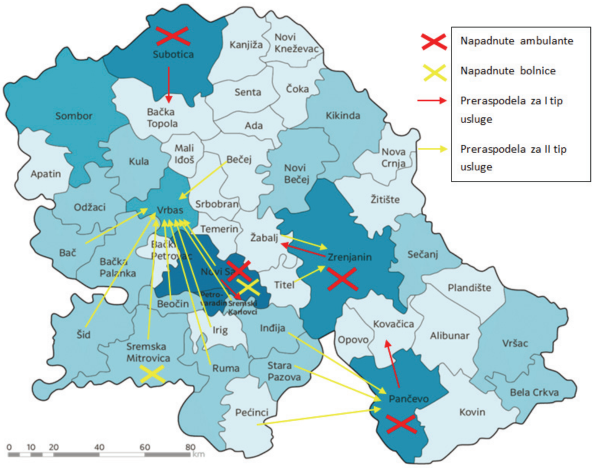
Od 50 test primera izdvojen je da bude prikazan i analiziran slučaj interdikcije četiri ambulante i dve bolnice. Vreme rada računara za dobijanje rešenja iznosilo je 0.16 sekundi, dok je vrednost funkcije cilja 206350280,9 km. Na slici 2 može se videti da su zatvorene ambulante (nivo 1) u Subotici, Novom Sadu, Zrenjaninu i Pančevu. Stanovnici iz Subotice se šalju u ambulantu u Bačkoj Topoli, stanovnici Zrenjanina u Žabalj, Pančeva u Kovačicu i Novog Sada u Sremske Karlovce. Na nivou 2 zatvorene su bolnice u Novom Sadu i Sremskoj Mitrovici. Jedan deo korisnika koji su se opsluživali u Sremskoj Mitrovici preraspodeljen je u Vrbas (stanovnici Šida, Sremske Mitrovice, Iriga i Rume), dok je drugi deo u Pančevo (stanovnici Inđije, Stare Pazove i Pećinaca). Svi korisnici bolnice u Novom Sadu opsluživali bi se u bolnici u Vrbasu. Kako vrednost funkcije cilja predstavlja maksimalno moguće nepređeno rastojanje svih korisnika u korisničkim zonama zahvaćenih poremećajem, na osnovu poznavanja preraspodele korisnika lako se može izračunati ukupno rastojanje koje korisnici zahvaćeni poremećajem moraju da pređu da bi dobili usluge na oba nivoa. Ukupno pređeno rastojanje svih korisnika zahvaćenih poremećajem iznosi 25718019,08 km. U proseku, svaki korisnik zahvaćen poremećajem mora preći 36,47 km da bi bio opslužen.

## 4. ZAKLJUČAK

Poslednjih godina sve su češći primeri raznih katastrofa, poput pojave virusa, terorističkih napada ili zemljotresa. Usled takvih događaja može doći do poremećaja u funkcionisanju zdravstvenog sistema, što je uslovilo potrebu za kreiranjem modela koji će najpre identifikovati najugroženije objekte, a zatim dati i najbolji plan preraspodele korisnika pogođenih poremećajem.

U ovom radu dat je novi hijerarhijski lokacijski model interdikcije primenjen na zdravstveni sistem u kome postoji hijerarhija objekata na dva nivoa čije su prednosti sledeće: kratko vreme rada računara u slučaju većih instanci, fleksibilnost na poremećaje u postojećem sistemu, prevazilaženje posledica poremećaja bez uvođenja novih objekata u sistem, što ga čini lako primenljivim u praksi i pogodnim u situacijama kada je vreme reakcije najvažniji kriterijum.

Pravci budućih istraživanja mogu biti sledeći: (1) primena modela na teritoriju cele Republike Srbije i analiza rezultata, (2) nadogradnja modela kroz uvođenje ograničenja kapaciteta bolnica što će omogućiti realniju preraspodelu korisnika, kao i (3) uvođenje ograničenja vezanih za rastojanja koje korisnici pogođeni poremećajem prelaze kako bi dobili uslugu na različitim nivoima, što je u tesnoj vezi sa proširenjem modela na određivanje novih lokacija bilo privremenih ili trajnih objekata, u situacijama kada su poremećaji takvi da imaju dugoročnije efekte.



**Slika 2:** Primer interdikcije četiri ambulante i dve bolnice i preraspodela korisnika

## ZAHVALNICA

Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekata TR 36002 i TR 36006 za period 2011-2023.

## LITERATURA

[1] Aliakbarian, N., Dehghanian, F. and Salari, M. (2015). A bi-level programming model for protection of hierarchical facilities under imminent attacks. *Computers & Operations Research*, 64, 210–224

[2] Cavaliere, G.A., Alfalasi, R., Jasani, G.N., Ciottone, G.R. and Lawner, B.J. (2021). Terrorist attacks against healthcare facilities: a review. *Health security*, 19 (5), 546–550

[3] Church, R. L. and Scaparra, M. P. (2007). Protecting Critical Assets: The r-Interdiction Median Problem with Fortification. *Geographical Analysis*, 39(2), 129–146

[4] Church, R. L., Scaparra, M. P. and Middleton, R. S. (2004). Identifying Critical Infrastructure: The Median and Covering Facility Interdiction Problems. *Annals of the Association of American Geographers*, 94 (3), 491–502

[5] Google mape, https://www.google.com/maps/@44.7698133,20.491812,14z?hl=sr [pristupljeno 21.1.2023.]

[6] Republika Srbija. Republički zavod za statistiku. (2022). Opštine i regioni u Republici Srbiji, https://publikacije.stat.gov.rs/G2022/Pdf/G202213049.pdf [pristupljeno 21.1.2023.]

[7] Scaparra, M.P. and Church, R.L. (2015). Location Problems Under Disaster Events. In: Laporte, G., Nickel, S. and da Gama, F.S. (eds.), *Location Science*, Springer, pp. 623–642

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# A NOVEL APPROACH BASED ON BEST-WORST-MABAC FOR SOLVING FACILITY LOCATION PROBLEM

VUKAŠIN PAJIĆ[1], MILAN ANDREJIĆ[1], MILORAD KILIBARDA[1]

[1] University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade,
{v.pajic, m.andrejic, m.kilibarda}@sf.bg.ac.rs

---

***Abstract:*** *In order for companies to be able to satisfy the demand in the expected time interval, it is very important to choose the right location for the distribution center (DC) so that the delivery time is as short as possible. Given that many companies face this problem, the goal of this paper is to propose a methodology for solving facility location problems based on the Best-Worst method (BWM) and Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC) method. Since not all criteria have the same weight, the BWM was applied in the first phase to determine the criteria weight, while in the second phase, the MABAC method was applied in order to rank the alternatives. Also, a numerical example is provided with 8 criteria (land cost, transportation time, distance to customers, proximity to suppliers, availability of labor resources, accessibility, proximity to highway, and expansion possibility) and 5 alternatives to test the proposed methodology. Based on the results, it can be concluded that the proposed methodology can be easily and efficiently implemented to solve this problem.*

***Keywords:*** *logistics, distribution center, facility location, MABAC, BWM.*

---

## 1. INTRODUCTION

Product delivery in the shortest possible time has always been an important factor in the competitiveness of a company. This is especially pronounced when considering e-commerce [5]. In order to meet market demand, most companies open distribution centers (DCs), which represent nodes where goods coming from suppliers are stored and from which they are then distributed to end-users. Precisely for this reason, it is of crucial importance to determine the right location for the DC in order to deliver the products in the shortest possible time and also to optimize the costs. The choice of location is a very complex problem where numerous quantitative and qualitative criteria are present. Having this in mind, the goal of this paper is to propose a methodology for solving facility location problems based on BWM-MABAC methods. The proposed methodology has two phases. In the first phase, a BWM was used to determine criteria weights, while in the second, the MABAC method was used to rank the potential locations (alternatives). BWM was applied in this paper since it was proven that it performs significantly better than AHP and provides more reliable results [8]. On the other hand, the MABAC method was applied since it is a useful and reliable tool for rational decision-making and provides solution stability (consistency) [6]. In order to test the proposed methodology, a numerical example is provided with 8 criteria and 5 alternatives.

The paper is organized as follows. After the introduction, in the second section, a problem description as well as a literature review are presented. In the third section, the proposed methodology, i.e., the implementation steps of the BWM and MABAC methods are presented. A numerical example used to test the proposed methodology is described in the fourth section alongside the results. Finally, conclusion remarks as well as future research directions are described in the last section.

## 2. PROBLEM DESCRIPTION AND LITERATURE REVIEW

The distribution center can be seen as one of the key places in the supply chain, given that at this point in the chain, the products are prepared for delivery to end users. This is realized by order-picking and by providing value-added services (such as consolidation, packaging, labeling, etc.) After that, the goods are loaded into vehicles and are shipped. The efficiency of the distribution process, both in terms of time and cost, is highly dependent on the location and position of the DC in that supply chain. Lately, with the rise of online shopping, delivery times are getting shorter and shorter (end-users want their products as soon as possible). For this reason, it is necessary to position the DC as close as possible to the users in order to reduce the delivery time and at the same time increase the efficiency of the distribution process. This has forced companies to focus more and invest in the logistics network. However, this is not an easy task as there are a number of constraints present when deciding on a potential location for a DC. One of the basic ones is definitely available space at a certain location, then land costs, accessibility to the plot, proximity of highway/airport/railway, availability of labor resources, etc. Based on everything aforementioned, it can be concluded that this is actually a very complex multi-criteria problem. In order to facilitate this decision-making process, the aim of this paper is to propose a novel approach for solving facility location problem.

Nong [4] in his paper proposed a hybrid model based on the Analytic Network Process (ANP) and Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) for distribution center location selection. Namely, the ANP method was used to determine criteria weights, while the TOPSIS method was used to rank the alternatives. A similar problem was addressed by Mihajlović et al. [3] in their paper whose aim was to propose an MCDM methodology for the selection of the logistics distribution fruit center location in the Southern and Eastern regions of Serbia. The proposed methodology is based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) and a Weighted Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS). The methodology was then tested on a case study with 7 criteria and 9 alternatives. Agrebi and Abed [1] considered the DC location selection problem under an uncertain environment and proposed a methodology based on a fuzzy multi-attribute and multi-actor decision-making (FMAADM) method for solving the aforementioned problem. Kieu et al. [2] in their paper proposed a methodology based on a Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy Process (SF-AHP) and Combined Compromise Solution (CoCoSo) methods for the selection of DC location in the agricultural supply chain. In order to demonstrate the feasibility of the model, the authors applied the proposed model to a case study of the sweet potato product. Puška et al. [7] in their paper proposed a comprehensive decision framework for selecting a DC location based on the Improved Fuzzy Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis (IMF SWARA) and fuzzy Compromise Ranking of Alternatives from Distance to the Ideal Solution (CRADIS) methods. The IMF SWARA method was used to determine the criteria weights, while the fuzzy CRADIS was used to rank the locations.

## 3. METHODOLOGY

### 3.1. Best-Worst Method

In order to obtain criteria weights, the BWM was applied using the following steps [8].

*Step 1* – Determine a set of decision criteria $\{c_1, c_2, \ldots, c_n\}$.

*Step 2* – Determine the best (most desirable) and the worst (least desirable) criteria. In this step, the best and the worst criteria are identified.

*Step 3* – In this step, a comparison is made in order to determine the preference of the best criterion over all the other criteria using a number between 1 and 9. The resulting Best-to-Others vector would be, Equation (1):

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2} \ldots, a_{Bn}) \tag{1}$$

where $a_{Bj}$ indicates the preference of the best criterion $B$ over criterion $j$. It should be noted that $a_{BB} = 1$.

*Step 4* – In this step, a comparison is made in order to determine the preference of all the criteria over the worst criterion using a number between 1 and 9. The resulting Others-to-Worst vector would be, Equation (2):

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \ldots, a_{nW})^T \tag{2}$$

where $a_{jW}$ indicates the preference of the criterion $j$ over the worst criterion $W$. It should be noted that $a_{WW}$ is equal to 1.

*Step 5* – In the final step, optimal weights are obtained $(w_1^*, w_2^*, \ldots, w_n^*)$ by solving the model presented in Equation (3).

$$\begin{aligned}
&\text{Min } \xi \\
&s.t. \\
&\left|\frac{w_B}{w_j} - a_{Bj}\right| \le \xi, for\ all\ j \\
&\left|\frac{w_j}{w_W} - a_{jW}\right| \le \xi, for\ all\ j \\
&\sum_j w_j = 1 \\
&w_j \ge 0, \text{ for all } j
\end{aligned} \tag{3}$$

### 3.2. MABAC method

In order to rank the alternatives, a MABAC method was applied using the following steps [6].

*Step 1.* Defining initial decision-making matrix ($X$) with $m$ alternatives and $n$ criteria.

*Step 2.* Normalization of the initial decision-making matrix ($X$) using Equations (4) and (5) for benefit and cost criteria, respectively.

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^-}{x_i^+ - x_i^-} \tag{4}$$

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_i^+}{x_i^- - x_i^+} \tag{5}$$

where $x_{ij}$, $x_i^+$ and $x_i^+$ are the elements from the initial decision-making matrix obtained in the following way:

$$x_i^+ = \max(x_1, x_2, \ldots, x_m) \tag{6}$$

$$x_i^- = \min(x_1, x_2, \ldots, x_m) \tag{7}$$

*Step 3.* Determining weighted decision matrix ($V$) using Equation (8).

$$v_{ij} = w_i * (n_{ij} + 1) \tag{8}$$

*Step 4.* Determining the border approximation area ($BAA$) matrix ($G$) using Equation (9).

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^{m} v_{ij}\right)^{\frac{1}{m}} \tag{9}$$

*Step 5.* Calculation of the distance of the alternative from the $BAA$ in order to form matrix $Q$. The distance of the alternatives from the border approximation area ($q_{ij}$) is determined as the difference between the elements in the weighted matrix ($V$) and the value of the border approximation area ($G$). $g_i$ is the border approximation area for criterion $C_i$, while $v_{ij}$ is the weighted matrix of the elements (V).

Alternative $A_i$ could belong to the border approximation area ($G$), upper approximation area ($G^+$), or lower approximation area ($G^-$), that is, $Ai \in \{G \vee G^+ \vee G^-\}$. The upper approximation area ($G^+$) is the area that contains the ideal alternative ($A^+$), while the lower approximation area ($G^-$) is the area that contains the antiideal alternative ($A^-$). The belonging of alternative $A_i$ to the approximation area (G, $G^+$, or $G^-$) can be determined using the following Equation (10).

$$Ai \in \begin{cases} G^+ \ if \ q_{ij} > 0 \\ G \ if \ q_{ij} = 0 \\ G^- \ if \ q_{ij} < 0 \end{cases} \qquad (10)$$

*Step 6.* Ranking the alternatives by calculating the values of the criterion functions for the alternatives using Equation (11).

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} q_{ij}, j = 1,2,\ldots,n \quad i = 1,2,\ldots,m \qquad (11)$$

## 4. NUMERICAL EXAMPLE

A proposed methodology was tested on a numerical example with 8 criteria and 5 alternatives (possible locations). After defining a problem, a literature review was performed in order to define the criteria that will be used in this paper. After the literature review, 8 criteria were taken into account in this paper: land cost (C1), transportation time (C2), distance to customers (C3), proximity to suppliers (C4), availability of labor resources (C5), accessibility (C6), proximity to highway (C7), and expansion possibility (C8). In Table 1 a detailed explanation of each criterion as well as references are provided.

**Table 1:** Criteria description

| Criterion | Description | Reference |
|---|---|---|
| Land cost (C1) | The price of the plot for the distribution center (DC) | [4,7] |
| Transportation time (C2) | The time that elapses from the moment of receiving the order up to delivery to the customer | [2,7] |
| Distance to customers (C3) | Distance between the plot and the customers | [4,7] |
| Proximity to suppliers (C4) | Distance between the plot and the suppliers | [4,7] |
| Availability of labor resources (C5) | Availability of labor resources in the proximity of the plot | [1,4] |
| Accessibility (C6) | Plot's existing accessibility | [3,7] |
| Proximity to highway (C7) | The plot's proximity to the highway | [4,7] |
| Expansion possibility (C8) | Possibility to expend DC on the plot | [1,7] |

In the first phase of the proposed methodology, a BWM was applied in order to determine the criteria weights that were then used in the second phase (MABAC method). When implementing BWM, and in accordance with the second step, the best and the worst criteria should be defined. The land cost was observed as the best criterion in this paper, while expansion possibility was observed as the worst. After solving the model presented in Equation 3, the following criteria weights were obtained (Table 2).

**Table 2:** Criteria weights obtained using BWM

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Weights | 0.3242 | 0.2026 | 0.1351 | 0.1013 | 0.0810 | 0.0675 | 0.0579 | 0.0304 |

Criteria weights obtained in the previous phase were then used in the second phase (in the MABAC method) in order to perform the final ranking of the alternatives. As already described in the methodology section, the first step in implementing the MABAC method is the definition of the initial decision-making matrix. For the purpose of this paper, a numerical example was taken into account (Table 3). In order to construct the example, all alternatives were ranked in accordance with the observed criterion on a 1-5 scale.

**Table 3:** Initial decision-making matrix

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Criteria type | Min | Min | Min | Min | Max | Max | Max | Max |
| Weights | 0.3242 | 0.2026 | 0.1351 | 0.1013 | 0.0810 | 0.0675 | 0.0579 | 0.0304 |
| A1 | 3 | 3 | 1 | 4 | 2 | 2 | 4 | 5 |
| A2 | 4 | 2 | 3 | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 |
| A3 | 5 | 2 | 4 | 1 | 3 | 4 | 2 | 4 |
| A4 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| A5 | 2 | 5 | 3 | 1 | 1 | 1 | 5 | 4 |

In the next step, the initial decision-making matrix was normalized using Equations (4) and (5) in accordance with the criteria type. Normalized values are presented in Table 4.

**Table 4:** Normalized decision-making matrix

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | 0.666667 | 0.666667 | 1 | 0.25 | 0.25 | 0.333333 | 0.666667 | 1 |
| A2 | 0.333333 | 1 | 0.333333 | 0 | 0.75 | 1 | 0.333333 | 1 |
| A3 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0.5 | 1 | 0 | 0.5 |
| A4 | 1 | 0.666667 | 0 | 0 | 1 | 0.666667 | 0.333333 | 0 |
| A5 | 1 | 0 | 0.333333 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0.5 |

To construct the weighted normalized decision-making matrix, criteria weights obtained using the BWM in the previous phase were used. Equation (8) was applied in this step (Table 5).

**Table 5:** Weighted normalized decision-making matrix

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | 0.5403 | 0.3377 | 0.2701 | 0.1266 | 0.1013 | 0.0900 | 0.0965 | 0.0608 |
| A2 | 0.4322 | 0.4052 | 0.1801 | 0.1013 | 0.1418 | 0.1351 | 0.0772 | 0.0608 |
| A3 | 0.3242 | 0.4052 | 0.1351 | 0.2026 | 0.1216 | 0.1351 | 0.0579 | 0.0456 |
| A4 | 0.6483 | 0.3377 | 0.1351 | 0.1013 | 0.1621 | 0.1126 | 0.0772 | 0.0304 |
| A5 | 0.6483 | 0.2026 | 0.1801 | 0.2026 | 0.0810 | 0.0675 | 0.1158 | 0.0456 |

The border approximation area matrix was obtained next, in accordance with the fourth step when implementing the MABAC method. In order to obtain this matrix, Equation (9) was used (Table 6).

**Table 6:** Border approximation area matrix

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $g_i$ | 0.5018 | 0.3279 | 0.1741 | 0.1398 | 0.1181 | 0.1045 | 0.0826 | 0.0472 |

Finally, in the last step, Equation (11) was applied in order to perform the final ranking of the alternatives (Table 7). As it can be concluded, alternative 1 (A1) was ranked as the best alternative, while A3 was ranked as the worst. The final ranking of the alternatives can be shown as: A1 > A4 > A5 > A2 > A3.

**Table 7:** Final ranking of the alternatives

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | $S_i$ | Rank |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | 0.0385 | 0.0097 | 0.0961 | -0.0131 | -0.0168 | -0.0145 | 0.0138 | 0.0136 | 0.1273 | 1 |
| A2 | -0.0696 | 0.0773 | 0.0060 | -0.0385 | 0.0238 | 0.0305 | -0.0054 | 0.0136 | 0.0377 | 4 |
| A3 | -0.1776 | 0.0773 | -0.0390 | 0.0628 | 0.0035 | 0.0305 | -0.0247 | -0.0016 | -0.0688 | 5 |
| A4 | 0.1465 | 0.0097 | -0.0390 | -0.0385 | 0.0440 | 0.0080 | -0.0054 | -0.0168 | 0.1086 | 2 |
| A5 | 0.1465 | -0.1253 | 0.0060 | 0.0628 | -0.0370 | -0.0370 | 0.0331 | -0.0016 | 0.0476 | 3 |

## 5. CONCLUSION

Solving the facility location problem is an important task from the perspective of a company that wants to be competitive on the market since DC represents a crucial point between supply and demand. Given that making a decision on the DC location is a strategic decision, it is necessary for company managers to take into account all the factors and criteria that influence this decision. On that occasion, MCDM models can be of help to them. Precisely because of this, the goal of this paper was to propose such a model. After developing, the model was tested on a numerical example with 8 criteria (land cost, transportation time, distance to customers, proximity to suppliers, availability of labor resources, accessibility, proximity to highway, and expansion possibility) and 5 alternatives. Based on the results, it can be concluded that the proposed model can be used for solving this problem. Application of the proposed methodology on a larger real-life example (case study) stands out as one of the future research directions. Also, implementation of a heuristic and metaheuristic algorithm for solving the facility location problem represent additional future research directions.

## REFERENCES

[1] Agrebi, M., & Abed, M. (2021). Decision-making from multiple uncertain experts: case of distribution center location selection. Soft Computing, 25, 4525–4544.

[2] Kieu, P.T., Nguyen, V.T., Nguyen, V.T., & Ho, T.P. (2021). A Spherical Fuzzy Analytic Hierarchy Process (SF-AHP) and Combined Compromise Solution (CoCoSo) Algorithm in Distribution Center Location Selection: A Case Study in Agricultural Supply Chain. Axioms, 10, 53.

[3] Mihajlović, J., Rajković, P., Petrović, G., & Ćirić, D. (2019). The selection of the logistics distribution fruit center location based on MCDM methodology in southern and eastern region in Serbia. Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications, 2 (2), 72-85.

[4] Nong, T.N.M. (2021). A hybrid model for distribution center location selection. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 38, 40-49.

[5] Pajić, V., Kilibarda, M., & Andrejić, M. (2023). A Novel Hybrid Approach for Evaluation of Resilient 4PL Provider for E-Commerce. Mathematics, 11, 511.

[6] Pamučar, D., & Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison (MABAC). Expert Systems with Applications, 42 (6), 3016-3028.

[7] Puška, A., Štilić, A., & Stević, Ž. (2023). A Comprehensive Decision Framework for Selecting Distribution Center Locations: A Hybrid Improved Fuzzy SWARA and Fuzzy CRADIS Approach. Computation, 11, 73.

[8] Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. Omega, 53, 49-57.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ЗНАЧАЈ НАЈНОВИЈИХ ТЕХНОЛОГИЈА У ДРУШТВУ 5.0

# THE SIGNIFICANCE OF THE LATEST TECHNOLOGIES IN SOCIETY 5.0

ГОРДАНА РАДИВОЈЕВИЋ[1], МИЛИЦА МИТРОВИЋ[1], ДРАЖЕН ПОПОВИЋ[1], МИЛОРАД ВИДОВИЋ[1]

[1] Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
{g.radivojevic, milica.mitrovic, d.popovic, m.vidovic}@sf.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Примена информационих и комуникационих технологија је довела до бројних промена у реализацији логистичких процеса и појаве Логистике 4.0. Нове технологије омогућавају аутоматизацију процеса, дигитализацију пословања, повећање продуктивности и економски раст. Последњих година се појавио нови концепт Друштва 5.0 у које су основни циљеви друштвена одговорност и еколошка одрживост. У овом раду је развијен модел за оцену значаја најновијих технологија у логистици са аспекта Друштва 5.0. Модел се заснива на примени метода AHP и FAHP. Излазни резултати модела обухватају значај сваке групе технологија са аспекта основних елемената Друштва 5.0.*

***Кључне речи:*** *Логистика 4.0, Технолошки трендови, Друштво 5.0, AHP, FAHP.*

***Abstract:*** *The application of information and communication technologies has led to numerous changes in the implementation of logistics processes and the emergence of Logistics 4.0. New technologies enable automation of processes, digitization of business, increased productivity and economic growth. In recent years, a new concept of Society 5.0 has emerged, in which social responsibility and environmental sustainability are the main goals. In this paper, a model was developed for assessing the importance of the latest technologies in logistics from the perspective of Society 5.0. The model is based on the application of the AHP and FAHP methods. The output results of the model include the importance of each group of technologies from the perspective of the basic elements of Society 5.0.*

***Keywords:*** *Logistics 4.0, Technology trends, Society5.0, AHP, FAHP.*

---

## 1. УВОД

Примена информационих и комуникационих технологија (енгл. Information and Communications Technology – ICT) у свим областима живота и рада је довела до развоја нових пословних модела, нових начина организације процеса и активности и нових трендова и циљева на глобалном нивоу. Индустрија 4.0 подразумева комплетну аутоматизацију рада фабрика, дигитализацију пословања и управљање процесима у реалном времену. Логистика 4.0 је настала као одговор и подршка Индустрији 4.0. Логистика 4.0 наставља тренд дигитализације уз примену модерних ICT. Интелигентни и дигитално повезани системи су пројектовани тако да омогућавају међусобну комуникацију људи, машина, опреме, возила и робе, постављајући нове захтеве у свим областима. Последњих година у свету се појавио нови концепт Друштва 5.0 у коме су основни циљеви друштвена одговорност и еколошка одрживост. Друштво 5.0 је супер паметно друштво усмерено на човека које успоставља равнотежу између економског напретка, друштвених и социјалних питања и очувања животне средине. ICT омогућавају аутоматизацију процеса, дигитализацију пословања, повећање продуктивности и економски раст. У контексту Друштва 5.0, приоритет у примени ICT у свим пословним системима је обезбеђење друштвено одговорног пословања и заштита животне средине.

Циљ овога рада је процена значаја најновијих ICT трендова у логистици са аспекта Друштва 5.0. Рад обухвата шест целина. У другом делу је описан логистички тренд радар и најважније групе нових технологија. Трећи део рада обухвата опис Друштва 5.0 и његове основне елементе. У четвртом делу је описан модел за одређивање значаја ICT трендова за Друштво 5.0. У петом делу је приказан нумерички пример, а шести део рада садржи закључна разматрања.

## 2. ЛОГИСТИЧКИ ТРЕНД РАДАР

Друштвени, пословни и технолошки трендови покрећу бројне промене у реализацији логистичких процеса. Трендови су последица нових ICT, пословних модела, друштвених промена и нових захтева корисника. Развој и примена ICT доводе до нових пословних модела и нових начина реализације логистичких процеса и активности. Са друге стране, друштвене промене, глобализација и нови тржишни услови утичу на нове захтеве корисника и тежњу компанија да одговоре тим захтевима и повећају своје тржиште. Циљ компанија је да примене нове технологије, унапреде своје ресурсе и повећају пословање.

Модерни логистички трендови обухватају велики скуп нових технологија које се односе на аутоматизацију пословања, дигиталне платформе, управљање пословним подацима, примену Интернета и повезивање физичких објеката, савремене технологије паковања и руковања робом итд. У последњој деценији су неки трендови постали стандардна техничка решења у пословању, неки нису прихваћени, појавили су се нови трендови као последица најновијих друштвених и тржишних околности.

Компанија DHL стално истражује друштвене и технолошке трендове и објављује Логистички тренд радар на сваке две године. Према последњем истраживању [3] логистички трендови обухватају следеће групе: вештачка интелигенција, бионичка побољшања, дигитална основа, интернет ствари, паковање и контејнери и роботика.

Вештачка интелигенција (енгл. Artificial intelligence) је област рачунарства која се бави развојем софтверских апликација и система по узору на интелигентно понашање људи. Ови системи имају могућност перцепције, учења, закључивања и решавања конкретних проблема. Друштвени и технолошки трендови у овој групи су масовна персонализација, компјутерска визија, аналитика великих количина податка, дигитални близанци и интерактивне апликације.

Бионичка побољшања (енгл. Bionic Enhancements) обухватају различите уређаје, опрему и апликације који повећавају могућности и перформансе запослених. Примена ових уређаја и опреме побољшава физичке и менталне способности људи и доприноси повећању ефикасности реализације пословних активности и процеса [3]. Друштвени и технолошки трендови у овој групи обухватају рад на даљину, технологије мобилних сензора и проширене реалности и егзоскелете.

Дигитална основа (енгл. Digital Backbone) се може описати као IT (енгл. Information Technology – IT) платформа која представља подршку за све системе, апликације, мреже и кориснике у компанији и омогућава комплетну дигитализацију пословања. Дигитална основа је кичма за све иновације и пословне моделе у компанији. Квалитетна дигитална основа обезбеђује скалабилност, флексибилност, безбедност и прилагодљивост иновацијама и стално растућим захтевима тржишта [1]. Технолошки трендови у овој групи обухватају сајбер безбедност, блокчејн технологију, еџ, квантум и рачунарство у облаку и бежичне мреже нове генерације.

Интернет ствари (енгл. Internet of Thnigs) је модел информационог и комуникационог повезивања објеката из реалног света који су опремљени различитим паметним уређајима (тагови, сензори, камере, итд.). У овом моделу објекти могу да евидентирају своје и карактеристике окружења и бежиним путем их шаљу надређеним системима [6]. Технолошки трендови у овој групи су физички интернет, бежичне мреже нове генерације, паметне ознаке и мобилни сензори.

Паковање и контејнери имају велики значај за заштиту животне средине. Са једне стране, паковање и контејнери обезбеђују заштиту робе и рационализацију транспортних, манипулативних и складишних операција. Са друге стране, паковање доводи до повећања отпада а примена контејнера захтева повратне токове. Циљеви одрживог развоја су минимизација отпада и рационализација повратних токова. Најважнији друштвени и технолошки трендови у овој области су декарбонизација, управљање животном средином, смартификација, паковање нове генерације и материјали који се добијају од биомасе.

Роботика представља примену сложених аутоматских уређаја и система који самостално обављају одређене процесе. Роботи се заснивају на савременим ICT, сензорским технологијама, рачунарству, методама вештачке интелигенције итд. Аутоматизована и роботизована технолошка решења постају све више заступљена у логистичким процесима. Друштвени и технолошки трендови у овој групи су рад на даљину, аутономна возила на отвореном, стационарни роботи, мобилни роботи у затвореном простору и дронови.

## 3. ДРУШТВО 5.0

Концепт Друштава 5.0 (енгл. Society 5.0) је настао у Јапану 2016. године као одговор на велике друштвене и технолошке промене у свету [2]. Основна идеја је развој цивилизације у складу са потребама човека, друштвена одговорност пословних система и очување животне средине. Овај концепт обухвата примену најновијих технологија Индустрије 4.0 и Логистике 4.0 уз поштовање циљева одрживог развоја (енгл. Sustainable Development Goals – SDG). Примена ICT и нових пословних модела омогућава физичку и дигиталну инфраструктуру за развој виртуелног модела физичког света и одрживо управљање свим системима. Друштво 5.0 је супер паметно друштво које обезбеђује равнотежу између економског развоја, друштвених потреба и еколошке одрживости [5].

Друштво 5.0 треба да одговори на све веће захтеве корисника, велике и брзе промене на тржишту, потенцијалне ризике на глобалном нивоу и захтеве за очувањем животне средине. Основни елементи Друштва 5.0 су [4]:

- Усмереност на човека,
- Флексибилност и
- Одрживост.

Усмереност на човека обухвата праћење потреба, могућности и знања људи и њихово повезивање за аутоматизованим системима и новим технологијама. Примена савремених ICT не значи апсолутну елиминацију човека у пословним процесима, већ његово знање, искуство и интуиција у сарадњи са аутоматизованим системима треба да обезбеде квалитетније одлучивање и већу продуктивност. Ово је од посебног значаја у логистичким системима где постоје бројне активности које зависе од тренутних процена и одлука искусних радника.

Флексибилност представља могућност пословних система да се прилагоде захтевима корисника и променама на тржишту. Корисници имају персонализоване захтеве за производима и услугама под утицајем нових технологија и широке понуде компанија. Тржишне промене су све веће и брже, а непрекидно су присутни различити ризици који могу да имају негативан утицај на глобалне ланце снабдевања. У оваквим условима компаније морају да буду флексибилне, прилагодљиве променама, новим захтевима корисника и тржишним условима.

Одрживост обухвата друштвено одговорно пословање које је усмерено на екологију и заштиту животне средине. Одрживи развој задовољава потребе садашњости без угрожавања будућности животне средине и заснива се на одрживим производима, минимизацији отпада, обновљивим изворима енергије и зеленом рачунарству. Одрживост логистичких система обухвата избор одговарајућег вида транспорта, управљање повратним логистичким токовима и ланцима вредности, коришћење еколошких паковања и обновљивих извора енергије итд.

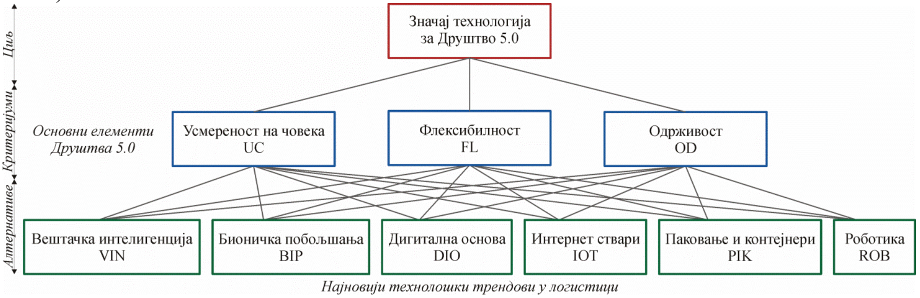
## 4. МОДЕЛ ЗА ОЦЕНУ ЗНАЧАЈА ТЕХНОЛОГИЈА У ДРУШТВУ 5.0

Најновије ICT које су део Логистике 4.0 се примењују у бројним светским компанијама. Редослед увођења и примене нових технологија зависи од бројних фактора: величине и делатности компаније, тржишта на коме послује, учешћа у глобалним ланцима снабдевања, финансијских и људских ресурса итд. У данашње време један од циљева свих пословних система је друштвено одговорно пословање које одговара Друштву 5.0.

У овом раду је развијен модел за оцену значаја нових ICT за Друштво 5.0. Модел се заснива на примени AHP и фази AHP метода (енгл. Analytic Hierarchy Process – AHP) и обухвата три корака:

1. Хијерархијска структура проблема,
2. Примена AHP и FAHP метода и
3. Анализа резултата.

Хијерархијска структура проблема обухвата разлагање проблема на скуп елемената који су организовани по нивоима. Основни елементи су циљ, критеријуми и алтернативе. Циљ је исход одлучивања, алтернативе су могуће опције а по критеријумима се ради вредновање сваке алтернативе. У овом моделу је дефинисана хијерархијска структура са три нивоа (слика 1).



**Слика 1:** Хијерархијска структура циља, критеријума и алтернатива

Циљ модела је оцена значаја технологија за Друштво 5.0. Критеријуми одлучивања су основни елементи Друштва 5.0: усмереност на човека (UC), флексибилност (FL) и одрживост (OD). Алтернативе су најновији логистички трендови који обухватају следеће групе технологија: вештачка интелигенција (VIN), бионичка побољшања (BIP), дигитална основа (DIO), интернет ствари (IOT), паковање и контејнери (PIK) и роботика (ROB).

Аналитички хијерархијски процес – AHP је метода вишекритеријумског рангирања која се заснива на хијерархијској структури проблема. Улазни подаци су експертске оцене поређења парова елемената у односу на виши ниво хијерархије. Ова метода се може применити за решавање сложених проблема који се заснивају на искуству, знању и интуицији експерата. Детаљан опис и математичку формулацију AHP методе дао је Saaty [7]. Поступак примене AHP методе најједноставније се може описати на следећи начин:

- Поређење парова елемената на сваком нивоу хијерархије у односу на све елементе вишег нивоа. За поређење се користи Saaty-ева скала (1, 2, ..., 9).
- Одређивање значаја сваког елемента у односу на елементе вишег нивоа.
- Синтеза вредности значаја како би се добио значај сваког елемента у односу на дефинисани циљ на највишем нивоу.

Код примене AHP методе неопходно је обезбедити конзистентност експертских оцена која се мери степеном конзистентности $CR$ (енгл. Consistency Ratio). Конзистентност је доследност експерата који раде поређење елемената хијерархије и креирање улазних вредности. Када је $CR \leq 0.10$ сматра се да су оцене прихватљиве [7]. FAHP метода се заснива на AHP методи и примени фази скупова. Фази скупови се примењују јер у решавању одређених проблема није могуће добити јасне и прецизне експертске оцене поређења елемената. Примена фази бројева може да побољша тачност процене експерата и квалитет излазних резултата. Експертске оцене поређења елемената се заснивају на примени фази бројева који одговарају Saaty-евој скали. У овој методи се сви прорачуни раде према правилима фази аритметике [8].

Анализа резултата обухвата вредности локалних и глобалних приоритета критеријума и алтернатива. У овом моделу се значај сваке групе технологија одређује као просечна вредност приоритета добијених методама AHP и FAHP.

## 5. НУМЕРИЧКИ ПРИМЕР

Модел за оцену значаја нових ICT за Друштво 5.0 је тестиран на примеру који обухвата три критеријума и шест алтернатива. Критеријуми су: UC, FL и OD. Алтернативе су групе технологија: VIN, BIP, DIO, IOT, PIK и ROB. За предложени модел је развијена софтверска апликација у MS Excel VBA окружењу. Улазни подаци – поређење парова елемената, су добијени анкетирањем експерата. У табелама 1 и 2 су приказани локални и глобални приоритети критеријума и алтернатива добијени применом метода AHP и FAHP. Разлике у добијеним приоритетима се могу објаснити чињеницом да фази бројеви у већој мери одговарају субјективности експертских оцена при поређењу критеријума и алтернатива.

**Tabela 1:** Локални и глобални приоритети критеријума и алтернатива – AHP

| | **UC** | **FL** | **OD** | |
|---|---|---|---|---|
| | 0.3119 | 0.1976 | 0.4905 | **← W ↓** |
| VIN | 0.1123 | 0.1936 | 0.0708 | 0.1080 |
| BIP | 0.3154 | 0.0727 | 0.1485 | 0.1856 |
| DIO | 0.2145 | 0.3157 | 0.2149 | 0.2347 |
| IOT | 0.1653 | 0.1793 | 0.1158 | 0.1438 |
| PIK | 0.0939 | 0.1195 | 0.3535 | 0.2263 |
| ROB | 0.0984 | 0.1192 | 0.0965 | 0.1016 |

**Tabela 2:** Локални и глобални приоритети критеријума и алтернатива – FAHP

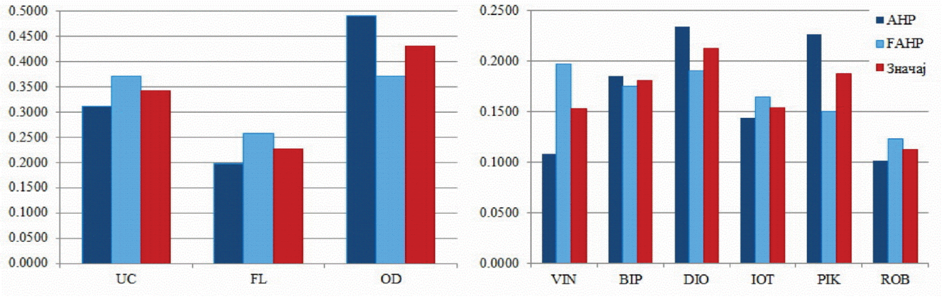
| | **UC** | **FL** | **OD** | |
|---|---|---|---|---|
| | 0.3716 | 0.2568 | 0.3716 | **← W ↓** |
| VIN | 0.2018 | 0.2074 | 0.1860 | 0.1974 |
| BIP | 0.2018 | 0.1219 | 0.1860 | 0.1754 |
| DIO | 0.1828 | 0.2074 | 0.1860 | 0.1903 |
| IOT | 0.1702 | 0.1758 | 0.1498 | 0.1640 |
| PIK | 0.1209 | 0.1386 | 0.1860 | 0.1496 |
| ROB | 0.1226 | 0.1490 | 0.1061 | 0.1233 |

Значај критеријума и сваке групе технологија се одређује као просечна вредност приоритета добијених методама AHP и FAHP. На слици 2 су графички приказане вредности приоритета и значаја критеријума и технологија.

Анализа добијених резултата указује на следеће закључке:

- Највећи значај има критеријум одрживост (43.10%) а затим утицај на човека (34.18%) и флексибилност (22.72%).
- Најзначајније групе технологија су дигитална основа (21.25%), паковање и контејнери (18.80%) и бионичка побољшања (18.05%).
- Најмање значајна група технологија је роботика (11.24%).

Одрживост и заштита животне средине су дугорочни циљеви свих пословних система. Групе технологија које највише могу да допринесу овим циљевима су развој дигиталне основе за савремено пословање и друштвени и пословни трендови у области паковања и контејнера.



**Слика 2:** Вредности приоритета и значаја критеријума и технологија

## 5. ЗАКЉУЧАК

Примена ICT и развој Логистике 4.0 утичу на нове облике реализације процеса и активности, аутоматизацију и дигитализацију пословања. Нови технолошки и друштвени трендови омогућавају развој нових пословних модела, квалитетније планирање и развој нових пословних стратегија. Друштво 5.0 је усмерено на човека, одрживо пословање и заштиту животне средине. У овом раду је развијен модел за оцену значаја најновијих ICT трендова са аспекта Друштва 5.0 који се заснива на примени AHP и FAHP метода. У овим методама се користи субјективна оцена, знање и искуство експерата о најновијим технологијама и елементима Друштва 5.0. Резултати добијени у нумеричком примеру указују на могућност примене модела у логистичкој компанији. Будућа истраживања могу да се односе на проширење модела новим критеријумима и подкритеријумима, промену алтернатива и формирање базе знања експертских оцена о различитим ICT трендовима.

## НАПОМЕНА

Овај рад је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије у оквиру пројекта ТР 36006 за период 2011-2023.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] BDO, (2019). Building a Digital Transformation Strategy, Dostupno na: www.bdo.com, Pristupano: 10.05.2023.

[2] Council of Science, Technology and Innovation – CSTI. (2016). Fifth Science and Technology Basic Plan. Tokyo: Government of Japan.

[3] Dohrmann, K., Toy, J., Pitcher, E., Selders, J., Grauf, T. (2022). The Logistics Trend Radar 6.0. Dostupno na: www.dhl.com. Pristupano: 20.04.2023.

[4] Jafari, N., Azarian, M., Yu, H. (2022). Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0: What Are the Implications for Smart Logistics?, Logistics, 6, 26.

[5] Potočan, V., Mulej, M., Nedelko, Z. (2021). Society 5.0: balancing of Industry 4.0, economic advancement and social problems, Kybernetes, Vol. 50, No. 3, Pp. 794-811.

[6] Radivojević, G., Bjelić, N., Popović, D. (2017). Internet of Things in Logistics, Proceedings of the 3th Logistics International Conference – LOGIC 2017, pp. 185-190, 25-27 May 2017, Belgrade, Serbia.

[7] Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill.

[8] Wang, Y-M., Luo, Y. & Hua, Z. (2008). On the extent analysis method for fuzzy AHP and its application. European Journal of Operational Research, 186 (2) 735-747.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50. СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ЗА РЕШАВАЊЕ ПРОБЛЕМА ЗАЈЕДНИЧКОГ ПОРУЧИВАЊА У ВИШЕКАНАЛНОЈ ДИСТРИБУЦИЈИ

# MATHEMATICAL MODEL FOR SOLVING THE OF JOINT REPLENISHMENT IN OMNICHANNEL DISTRIBUTION

ДРАЖЕН ПОПОВИЋ[1], МИЛИЦА МИТРОВИЋ[1], ГОРДАНА РАДИВОЈЕВИЋ[1], НЕНАД БЈЕЛИЋ[1]

[1] Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, {d.popovic, milica.mitrovic, g.radivojevic, n.bjelic}@sf.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *У овом раду је посматран проблем поручивања робе једног трговинског ланца за потребе вишеканалне продаје. Предложен приступ припада класи проблема заједничког поручивања робе (енгл. Joint Replenishment Problem – JRP). Класичан JRP модел подразумева приступ заједничког поручивања робе различитих артикала у дужем планском периоду узимајући у обзир трошкове поручивања и трошкове складиштења. У овом раду је класичан JRP модел дорађен са трошковима недостатка залиха и трошковима транспорта. Циљ развијеног модела је максимизација зараде (приход умањен за оперативне трошкове) која се састоји од укупног прихода од ког се одузимају трошкови недостатка залиха, трошкови поручивања, трошкови транспорта и трошкови складиштења. Посматрана су два канала продаје: путем класичних продавница (офлајн) и е-трговина (онлајн). Резултати тестираног модела за укупно 90 инстанци (за три типа возила и три скупа артикала) показују да модел може помоћи доносиоцима одлуке у бољем планирању залиха применом заједничког поручивања робе.*

***Кључне речи:*** *заједничко поручивање робе JRP, вишеканална продаја, математичко програмирање*

***Abstract:*** *In this paper, the joint replenishment problem (JRP) of one trade chain omnichannel distribution is observed. The proposed approach belongs to the class of joint replenishment problem. The classic JRP model implies the approach of joint replenishment problem of goods of different items in a longer planning period, taking into account ordering costs and storage costs. In this paper, the classic JRP model is refined with out-of-stock costs and transportation costs. The goal of the developed model is the maximization of earnings (revenue minus operating costs) which consists of the total revenue from which out-of-stock costs, ordering costs, transport costs and storage costs are subtracted. Two sales channels were observed: via traditional stores (offline) and e-commerce (online). The results of the tested model for a total of 90 instances (for three types of vehicles and three sets of items) show that the model can help decision makers in better inventory planning by applying joint ordering of goods.*

***Keywords:*** *joint replenishment problem JRP, omnichannel distribution, mathematical programming*

---

## 1. УВОД

Вишеканална продаја пружа шире могућности како за купце, тако и за продавце. Из перспективе купаца, вишеканална продаја омогућава различите начине куповине и преузимања артикала. Примери различитих начина куповине могу бити: онлајн куповина - преузимање у малопродаји, куповина у малопродаји - испорука на адресу, разгледање у изложбеном простору - куповина онлајн итд. Из перспективе продаваца, вишеканална продаја пружа флексибилност да роба која је онлајн поручена буде испоручена из било ког складишта или малопродаје која има робу на залихама. Према томе, вишеканална продаја захтева од продаваца развој нових економско-логистичких пословних модела који интегришу различите канале. Један од главних логистичких изазова са којима се суочавају продавци у вишеканалној продаји је ефикасно интегрисање операција онлајн и офлајн канала како би се поручила неопходна количина робе која ће задовољити потражњу на различитим каналима [6]. Компаније могу да утичу на смањење трошкова у ланцу снабдевања применом стратегије JRP (енгл. Joint Replenishment Problem - JRP). JRP подразумева попуњавање залиха различитих артикала ради задовољења потражње у различитим периодима. Свака поруџбина садржи различите артикле који се заједнички поручују и генеришу две врсте фиксних трошкова: заједнички трошак поруџбине по поручивању или појединачни трошак поруџбине по типу артикла [2]. Циљ поменуте стратегије је минимизација укупних трошкова који укључују трошкове поручивања, транспорта, складиштења и недостатка залиха, уз истовремено задовољење захтева купаца [8]. Циљ овога рада је развој математичког модела за решавање JRP-а једног трговинског ланца применом мешовитог целобројног линеарног програмирања (енгл. Mixed Integer Linear Programming – MILP). Модел је тестиран на случајно генерисаним инстанцама за три типа возила различитих капацитета и три скупа артикала, за период посматрања од 14 дана, за два канала продаје. Канали продаје су офлајн (класичне продавнице) и онлајн (интернет продавница, односно е-трговина). У моделу је дефинисано да купац поручује робу од једног снабдевача, при чему су трошкови транспорта и поручивања дефинисани бројем вожњи и бројем поручивања појединачних артикала респективно. Предложени математички модел успешно решава проблем малих инстанци до оптималности у већини тестираних случајева, у оквиру расположивог времена рада рачунара. Рад је организован у четири поглавља, поред увода и закључка. У другом поглављу дат је преглед литературе на тему заједничког поручивања робе. У трећем поглављу је описан посматрани проблем. У четвртом поглављу су приказани резултати и анализа модела.

## 2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Због све веће конкуренције на тржишту доносиоци одлука у ланцу снабдевања све већу пажњу посвећују побољшању оперативне ефикасности и смањењу трошкова применом JRP-а [9]. Како би се постигла што боља конкурентност на тржишту данас све већи број малопродаја имплементира савремене технологије ради интеграције начина продаје и прелази на вишеканалну продају да би купцима понудили што боље искуство куповине [11]. У раду [5] су аутори представили хибридни метахеуристички модел за решавање JRP у вишеканалној продаји. Предложена метахеуристика комбинује алгоритме оптимизације групе честица и симулираног каљења за решавање поменутог проблема за малопродају у текстилној индустрији. У раду [4] су аутори представили JRP математички модел за компаније Alibaba која се бави електронском трговином. Поред основног циља планирања залиха, истовремено се пажња посвећује оптимизацији нивоа услуге и смањену укупних трошкова. Компаније са вишеканалном дистрибутивном мрежом интегришу залихе канала продаје и дистрибутивних центара како би постигли оптимално поручивање више артикала и стање залиха [10]. У раду [6] је проучаван проблем оптимизације заједничког попуњавања залиха, алокације и поручивања у планираном периоду за вишеканалну продају. Аутор је формулисао стохастички модел оптимизације, тако да се на почетку сваког периода доноси одлука о поручивању робе сваког артикла за сваки канал на основу нивоа залиха. Затим, након складиштења робе у дистрибутивним центрима се доноси одлука о алокацији количине робе која се испоручује сваком каналу. У раду [1] је креиран модел JRP са динамичном потражњом узимајући у обзир трошкове транспорта. Аутори су развијен модел применили за решавање проблема допуњавања банкомата у Холандији са циљем креирања руте за банкомате које је потребно допунити. Аутори су поседовали следеће податке за сваки банкомат: локација, капацитет складиштења, динамичка дневна потражња и почетни ниво залиха. У раду [7] су аутори развили MILP модел за проблем JRP са креирањем рута више возила. Циљ модела је одређивање оптималног нивоа залиха са минимизацијом укупних трошкова који укључују трошкове поручивања, набавке, производње, транспорта и складиштења залиха. Аутори су користили модел оптимизације групе честица за решавање проблема великих размера. У раду [3] су аутори представили JRP модел узимајући у обзир два типа попуста: попуст на количину за све јединице и на инкременталну количину. Попуст на количину за све јединице се односи на ситуацију када снабдевач пружа попуст на основу укупне количине поручене робе, при чему се већи попуст остварује ако се поручи већа количина. С друге стране, попуст на инкременталну количину подразумева да се попуст примењује само на артикле који се налазе унутар одређеног опсега количина. Циљ развијеног модела је истраживање утицаја истовремене примене ова два типа попуста како би се минимизирали укупни трошкови и одредила оптимална фреквенција поручивања за сваки артикал. У раду [12] аутори наводе да је купчево искуство важан елемент у области вишеканалне продаје јер има кључну улогу у привлачењу нових купаца. Аутори су представили динамички модел за оптимизацију система залиха посматрајући четири типа канала продаје. Анализирани канали продаје су: онлајн, офлајн, куповина онлајн - преузимање у малопродаји и интеграција онлајн и офлајн продаје са испоруком робе преко логистичких центара. У нумеричкој анализи последњи канал се показао као најбољи избор.

## 3. ОПИС ПРОБЛЕМА

У овом раду је развијен JRP модел за два канала продаје једног трговинског ланца. Два посматрана канала су класичне продавнице које подразумевају офлајн продају и други канал је е-трговина која подразумева онлајн продају. Карактеристике модела су:

- Потражња сваког артикла за оба канала је независна и позната за сваки дан,
- Почетни ниво залиха је познат и различит је за сваки артикал,
- Залихе артикала су изражене у логистичкој јединици кутија,
- Минимална количина поручивања по артиклу је 10% једне палете,
- Количина поручивања у неком дану мора бити већа од 80% попуњености возила, односно максимално пуно возило (поручивање се не мора вршити сваки дан),
- Купац остварује повољнију цену онлајн куповином,
- Трговац сноси додатни трошак по артиклу услед недостатка залиха и
- Модел максимизује зараду (разлика профита и трошкова недостатка залиха, поручивања, транспорта и складиштења).

## 4. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ

У оквиру овог поглавља је представљен математички модел за решавање посматраног JRP-а.

Индекси:

- $i$ - Артикли ($i \in \mathrm{I}$)
- $k$ - Канали продаје: класичне продавнице и е-трговина ($k \in \mathrm{K}$)
- $t$ - Период посматрања ($t \in \mathrm{T}$)

Параметри:

- $P_{itk}$ - Планирана продаја за $i$ артикал у дану $t$ и каналу $k$ (изражен у кутијама)
- $Z_{i0}$ - Почетни ниво залиха за артикал $i$ ($t$=0)
- $R_{ik}$ - Профит по јединици артикла $i$ по каналу продаје $k$
- $C^{ORDER}$ - Трошак поручивања по артиклу $i$
- $C^{TR}$ - Трошак једног транспорта
- $C^{WHS}$ - Трошак складиштења свих артикала (дневно по једној палети)
- $C_{ik}^{LOST}$ - Трошак недостатка залиха по артиклу $i$ у каналу продаје $k$ ($C_{ik}^{LOST} = w_1 * R_{ik}$)
- $w_2$ - Коефицијент за дефинисање минималне количине робе у возилу
- $M_1$, $M_2$ - „big“ M коефицијенти, $M_1 = \max\{Q_i^{MIN}\}$, $M_2 = Q^{TR}$
- $Q_i^{MIN}$ - Минимална количина поручивања по артиклу $i$ (изражен у кутијама)
- $Q^{TR}$ - Капацитет возила (изражен у палетама)
- $L_i$ - Број кутија на палети по артиклу $i$

Промењиве одлучивања:

- $A_{itk}$ - Остварена продаја артикла $i$ у дану $t$ и каналу $k$ (изражена у кутијама)
- $N_{itk}$ - Неостварена продаја артикла $i$ у дану $t$ и каналу $k$ (изражена у кутијама)
- $Z_{it}$ - Ниво залиха по артиклу $i$ у дану $t$ (изражен у кутијама)
- $Y_{it}$ - Количина поручивања по артиклу $i$ у дану $t$ (изражена у кутијама)
- $b_{it}$ - Бинарна промењива која узима 1 ако постоји поручивање артикла $i$ у дану $t$
- $x_t$ - Бинарна промењива која узима вредност 1 ако постоји испорука у дану $t$

Функција циља:

$$\max \rightarrow \sum_{i\in I}\sum_{k\in K}\sum_{t\in T}\mathrm{R}_{\mathrm{ik}}\cdot A_{itk}-\sum_{i\in I}\sum_{k\in K}\sum_{t\in T}\mathrm{C}_{\mathrm{ik}}^{\mathrm{LOST}}\cdot N_{itk}-\mathrm{C}^{\mathrm{ORDER}}\cdot\sum_{i\in I}\sum_{t\in T}b_{it}-\mathrm{C}^{\mathrm{TR}}\cdot\sum_{t\in T}x_t-\mathrm{C}^{\mathrm{WHS}}\cdot\sum_{i\in I}\sum_{t\in T}\frac{Z_{it}}{L_i} \quad (1)$$

Ограничења:

$$\mathrm{w}_2\cdot\mathrm{Q}^{\mathrm{TR}}-(1-x_t)\cdot\mathrm{M}_2\le\sum_i\frac{Y_{it}}{\mathrm{L_i}}\le\mathrm{Q}^{\mathrm{TR}} \qquad \forall \mathrm{t}\in\mathrm{T} \quad (2)$$

$$Y_{it}\ge\mathrm{Q}_{\mathrm{i}}^{\mathrm{MIN}}-\left(1-b_{it}\right)\cdot\mathrm{M}_1 \qquad \forall\mathrm{t}\in\mathrm{T},\ \forall\mathrm{i}\in\mathrm{I} \quad (3)$$

$$b_{it}\ge\frac{Y_{it}}{\mathrm{L_i}\cdot\mathrm{Q}^{\mathrm{TR}}} \qquad \forall\mathrm{t}\in\mathrm{T},\forall\mathrm{i}\in\mathrm{I} \quad (4)$$

$$x_t\ge\frac{\sum_i b_{it}}{|\mathrm{I}|} \qquad \forall\mathrm{t}\in\mathrm{T} \quad (5)$$

$$Z_{i1}=\mathrm{Z_{i0}} \qquad \forall\mathrm{i}\in\mathrm{I} \quad (6.1)$$

$$Z_{it}=Z_{i(t-1)}+Y_{i(t-1)}-\sum_k A_{i(t-1)k} \qquad \forall\mathrm{i}\in\mathrm{I},\ \forall\mathrm{t}\in\mathrm{T},\ \mathrm{t}>1 \quad (6.2)$$

$$\sum_k A_{itk}\le Z_{it} \qquad \forall\mathrm{i}\in\mathrm{I},\ \forall\mathrm{t}\in\mathrm{T} \quad (7)$$

$$A_{itk}\le\mathrm{P_{itk}} \qquad \forall\mathrm{i}\in\mathrm{I},\ \forall\mathrm{t}\in\mathrm{T},\ \forall\mathrm{k}\in\mathrm{K} \quad (8)$$

$$N_{itk}+A_{itk}=\mathrm{P_{itk}} \qquad \forall\mathrm{i}\in\mathrm{I},\ \forall\mathrm{t}\in\mathrm{T},\ \forall\mathrm{k}\in\mathrm{K} \quad (9)$$

$$\begin{array}{l} Z_{it},Y_{it},A_{itk},N_{itk}\ge 0 \quad \forall i\in I,\ \forall t\in T,\ \forall k\in K \\ x_t,b_{it}\in[0,1] \quad \forall i\in I,\ \forall t\in T \end{array} \quad (10)$$

У предложеном моделу, функција циља (1) максимизује зараду. Ограничења (2) обезбеђују да сума поручене количине артикла $i$ у периоду $t$ мора бити у предвиђеном опсегу. Ограничења (3) обезбеђују да поручена количина по артиклу $i$ у периоду $t$ буде већа од минималне количине поручивања. Ограничења (4) дефинишу бинарну промењиву $b_{it}$. Ограничења (5) дефинишу бинарну промењиву $x_t$. Ограничења (6.1) дефинишу да су залихе првог дана једнаке улазним почетним залихама. Ограничења (6.2) дефинишу ниво залиха по данима планског периода за све артикле. Ограничења (7) одређује да укупна остварена продаја артикла $i$ за период $t$ и канал $k$ мора бити мања или једнака од расположивих залиха артикла $i$ за дан $t$. Ограничења (8) дефинишу да остварена продаја артикла $i$ за период $t$ канала $k$ мора бити мања или једнака од планиране продаје артикла $i$ за период $t$ канала $k$. Ограничења (9) дефинишу да збир неостварене и остварене продаје артикла $i$ по каналу $k$ мора бити једнака планираној продаји артикла $i$ за период $t$ канала $k$. Са (10) се дефинише тип и опсег промењивих одлучивања у моделу.

## 5. ИНСТАНЦЕ И РЕЗУЛТАТИ

За тестирање предложеног модела је генерисано по 10 инстанци за три типа возила и три групе различитих артикала (укупно 90 тесних инстанци) како би се оценио утицај ових параметара на понашање модела и добијене резултате. Три различите величине скупа артикала су 20, 25 и 30. Такође, у моделу су посматране три различите категорије возила ($Q^{TR}$ = 20, 26 и 33 палета). Генерисани улазни параметри инстанци су: планирана продаја по каналима, цена по каналима, број кутија на палети ($Q_i^{MIN}$ износи 10% од овог броја по артиклима) и почетни ниво залиха по артиклима. Параметри који су исти у свим инстанцама су дужина планског периода је 14 дана, број канала продаје је 2, трошак поручивања ($C^{ORDER}$ = 2 €/ по једном поручивању артикла), трошак транспорта ($C^{TR}$ = 200 € по вожњи), трошак складиштења ($C^{WHS}$ = 1 € по палети по дану) и коефицијенти ($w_1$ = 100; $w_2$ = 0.8). Математичка формулација је моделирана у CPLEX 22.1.1 а инстанце су решавање на рачунару Intel(R) Core(TM) i5-3470 CPU @ 3.20GHz. У табели 1 су приказане просечне вредности функције циља (P1 - приход, T1 - укупни трошкови недостатка залиха, T2 - укупни трошкови поручивања, T3 - укупни трошкови транспорта, T4 - укупни трошкови складиштења) и параметара решења генерисаних инстанци (као и вредности CPU времена рада у секундама). Максимално расположиво време рада модела (CPU) износи 1800 s.

**Табела 1:** Просечне вредности функције циља и параметара решења генерисаних инстанци

| **И** | **$Q^{TR}$** | **Бр. инс.** | **Ф-ција циља [€]** | **P1 [€]** | **T1 [€]** | **T2 [€]** | **T3 [€]** | **T4 [€]** | **Искор. возила [%]** | **Залихе [пал]** | **Медиана CPU време [s]** | **Просек CPU време [s]** | **Макс. CPU време [s]** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | 20 | 10 | 2313.2 | 3851.7 | 3.6 | 156.0 | 1140.0 | 238.9 | 93.5 | 17.1 | 42.8 | 212.9 | 1800.0 |
| | 26 | 10 | 2513.6 | 3851.7 | 0.0 | 149.4 | 940.0 | 248.7 | 87.6 | 17.8 | 21.6 | 25.1 | 97.2 |
| | 33 | 10 | 2659.7 | 3851.7 | 0.0 | 136.0 | 780.0 | 276.0 | 84.7 | 19.7 | 9.4 | 22.4 | 78.5 |
| 25 | 20 | 10 | 2947.4 | 5027.3 | 0.0 | 217.0 | 1560.0 | 302.9 | 93.3 | 21.6 | 197.3 | 531.6 | 1800.0 |
| | 26 | 10 | 3306.9 | 5027.3 | 0.0 | 206.4 | 1200.0 | 314.0 | 93.4 | 22.4 | 64.9 | 101.3 | 322.2 |
| | 33 | 10 | 3540.4 | 5027.3 | 0.0 | 189.6 | 960.0 | 337.2 | 91.8 | 24.1 | 17.3 | 31.1 | 81.9 |
| 30 | 20 | 10 | 3259.8 | 5748.8 | 0.0 | 275.2 | 1860.0 | 353.8 | 95.7 | 25.3 | 1800.0 | 1316.3 | 1800 |
| | 26 | 10 | 3660.8 | 5748.8 | 0.0 | 263.6 | 1460.0 | 364.5 | 93.9 | 26.0 | 258.7 | 459.9 | 1800.0 |
| | 33 | 10 | 3940.7 | 5748.8 | 0.0 | 251.4 | 1180.0 | 376.7 | 91.5 | 26.9 | 55.8 | 87.4 | 317.7 |

На основу резултата модела може се закључити да је најбоља функција циља за капацитет возила од 33 палете. Са већим капацитетом возила остварују се веће уштеде у трошковима поручивања и транспорта, у односу на трошкове складиштења. У генерисаним инстанцама само су у једном случају забележени трошкови недостатка залиха од девет кутија, за инстанцу од 20 артикала са капацитетом возила од 20 палета (оптимално решење није потврђено за 1800 s). У овој инстанци, трошак неостварене продаје од 9 кутија је далеко мањи од додатних трошкова поручивања и транспорта (у најбољем решењу ове инстанце све вожње имају 100% искоришћење возила). Просечан број поручивања, транспорта и искоришћеност возила су већи у случају возила мањих капацитета. Просечне залихе се повећавају са већим бројем артикала и већим капацитетом возила. За 10 инстанци од укупно 90 математички модел није успео да потврди оптималност решења (најчешће за возило капацитета од 20 палета). У тим случајевима је неопходно дуже време рада рачунара од предвиђеног да би се добило боље решење. Према сва три параметра времена и резултатима модела, уочава се да су најбоља решења (са аспекта зараде) добијена за возило капацитета од 33 палете. На основу три параметра CPU времена, произлази да потребно време рада рачунара за добијање оптималног решења у великој мери зависи од структуре улазних података, чак и у случају инстанци исте групације (величине скупа артикала и возила).

## 6. ЗАКЉУЧАК

Заједничко поручивање робе представља концепт који може оптимизовати управљање залихама. У раду је предложен MILP модел за проблем заједничког поручивања различитих артикала једног трговинског ланца. Модел садржи функцију циља и ограничења која дефинишу приход, трошкове недостатка залиха, поручивања, транспорта и складиштења посматраних артикала. Тестирање развијеног модела је спроведено за укупно 90 инстанци три типа возила и три скупа артикала. Модел је у већини случајева пронашао оптимално решење у расположивом времену рада, али постоје случајеви у којима је дошло до прекорачења временског оквира. Максимизација функције циља се најбоље постиже капацитетом возила од 33 палете за сва три скупа артикала. Сходно томе, резултати тестираног модела показују могућности оптимизације поручивања у складу са расположивим типовима возила са основним циљем помоћи менаџерима да донесу бољу одлуку. Један од будућих праваца истраживања јесте дорада модела са *backorder* опцијом (без губитка продаје, са накнадном опслугом клијента).Такође, развој хеуристичког приступа за решавање већих димензија проблема представља логичан наставак истраживања.

## НАПОМЕНА

Овај рад је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије у оквиру пројекта ТР 36006 за период 2011-2023.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Baller, A.C., Dabia, S., Dullaert, W.E.H., Vigo, D. (2019). The Dynamic-Demand Joint Replenishment Problem with Approximated Transportation Costs. *European Journal of Operational Research*, 276(3), 1013-1033.

[2] Boctor, F.F., Laporte, G., Renaud, J. (2004). Models and algorithms for the dynamic-demand joint replenishment problem. *International Journal of Production Research*, 42(13), 2667-2678.

[3] Cui, L.,Deng, J., Wang, L., Xu, M., Zhang, Y. (2016). A novel locust swarm algorithm for the joint replenishment problem considering multiple discounts simultaneously. *Knowledge-Based Systems*, 111, 51-62.

[4] Dai, B., Li, F. (2021). Joint Inventory Replenishment Planning of an E-Commerce Distribution System with Distribution Centers at Producers' Locations. *Logistics*, 5(3), 1-14.

[5] Espejo-Lorenzo, A., Muñuzuri, J., Guadix, J., Escudero-Santana, A. (2022). A Hybrid Metaheuristic for the Omnichannel Multiproduct Inventory Replenishment Problem. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 17(2), 476-492.

[6] Jiu, S. (2022). Robust omnichannel retail operations with the implementation of ship-from-store. *Transportation Research Part E*, 157, 1-21.

[7] Kang, H.Y., Lee, A.H.I, Wu, C.W.W., Lee, C.H. (2016). An efficient method for dynamic-demand joint replenishment problem with multiple suppliers and multiple vehicles. *International Journal of Production Research*, 55(4), 1-20.

[8] Narayanan, A., Robinson, E.P. (2005). More on 'Models and algorithms for the dynamic-demand joint replenishment problem'. *International Journal of Production Research*, 44(2), 383-397.

[9] Peng, L., Wang, L., Wang, S. (2022). A review of the joint replenishment problem from 2006 to 2022. *Management System Engineering*, 1(9), 1-11.

[10] Qu, T., Huang, T., Nie, D., Fu, Y., Ma, L., Huang, G. (2022). Joint Decisions of Inventory Optimization and Order Allocation for Omni-Channel Multi-Echelon Distribution Network. *Sustainability*, 14(10), 1-23.

[11] Shao, X. (2021). Omnichannel retail move in a dual-channel supply chain. *European Journal of Operational Research*, 294(3), 936-950.

[12] Xu, G., Kang, K., Lu, A.M. (2023). An Omnichannel Retailing Operation for Solving Joint Inventory Replenishment Control and Dynamic Pricing Problems From the Perspective of Customer Experience. *IEEEAccess*, 11, 14859-14875.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# PRIORITIZATION OF SOLUTIONS FOR MATERIAL HANDLING IN CITY LOGISTICS SUB-SYSTEMS

MLADEN KRSTIĆ[1], SNEŽANA TADIĆ[1], MLADEN BOŽIĆ[1], SLOBODAN ZEČEVIĆ[1]

[1] *Faculty of Transport and Traffic Engineering, University of Belgrade, 11000 Beograd, Serbia*

---

***Abstract:*** *Problems and challenges of city logistics (CL) can be addressed by implementing solutions that imply various initiatives, concepts, and scenarios. One of the most promising solution imply the application of logistics centers (LC) whose performance is significantly affected by the automation of material handling (MH). Accordingly, the purpose of this paper is to evaluate and select solutions for MH in LCs from which the deliveries are made to the city. The paper analyzed four MH solutions and evaluated them according to nine criteria. A hybrid Multi-Criteria Decision-Making model that combines the fuzzy Factor Relationship (FARE) and the fuzzy COmprehensive distance-Based RAnking (COBRA) methods is used for prioritizing the MH solutions. The model's implementation indicates that the best option is to employ a self-driving forklift, which significantly reduces delivery failure rates and automates logistics processes.*

***Keywords:*** *Material Handling Solution; City Logistics; Fuzzy FARE; Fuzzy COBRA.*

## 1. INTRODUCTION

Customers' needs in the city are marked by a great degree of demand, a wide range of products, requests for home and customized deliveries, delivery of individual packages, delivery at certain intervals, etc. [14, 16]. Accordingly city logistics (CL) faces numerous challenges in the processes of delivering goods. There are many different CL solutions, including the use of initiatives, concepts, measures, and scenarios. Among the most analyzed is the concept of logistics centers (LC), which represent one of the essential CL sub-systems [16]. The efficiency of the delivery of goods in the city and the quality of customer service can be increased by optimizing the process of organizing the delivery of products from the LC, in which the material handling (MH) processes are dominant. MH refers to all forms of cargo manipulation within the LC. MH processes have a significant impact on the effectiveness and efficiency of LC due to their large share of total logistics costs. The entire process of goods delivery in the city can be improved by optimizing the MH process by removing factors that contribute to delivery delays, increased traffic congestion, damaged items, wrong deliveries, etc. In addition, better work safety, lower labor expenses, fewer staff, etc., are all benefits of utilizing the most effective MH technology. As a result, the objective of this paper is to rate and select the best MH solution that may boost LC productivity and, as a result, the effectiveness of the logistics company's CL activities. The structure of the paper is as follows. The problem structure is described in the second section, an approach to select the MH equipment is provided in the third section, and the results are shown in the fourth section. The last section contains conclusions and suggestions for additional research.

## 2. PROBLEM DESCRIPTION

Any time delay in the company's execution of logistical activities has an unfavorable influence on the customer's satisfaction. Deliveries that are made incorrectly and inefficiently result in immediate customer displeasure. Despite the fact that the company's logistical operations face a variety of difficulties, some of the most significant ones with regard to MH activities in LC are: damage to goods during handling; frequent employee errors in order picking activities; congestion at the transshipment terminal and delays in loading and unloading vehicles; crisscrossings of the intralogistics flows. This paper analyzes a case of a company that makes deliveries throughout the city from a designated LC. The company identified a problem in efficiency caused by inappropriate MH equipment and decided to investigate other options for performing MH tasks. Great productivity, low operating expenses, high work safety, a minimal probability of error and damage to goods, among other factors, are are identified by the company as the main prerequisites to conduct sustainable operations. Accordingly, this paper investigates and ranks several MH solutions in order to choose the best one for the LC making deliveries within the city.

### 2.1. Proposed MH solutions

Four MH solutions were discussed in the paper. The utilization, benefits, and limitations of the proposed alternatives are discussed below.

***AGV forklift (A1)***. In MH operations, AGVs are frequently used in the automation of warehouse technologies [8]. An AGV forklift is a forklift that is autonomously controlled by a computer. Simply put, driverless forklifts that autonomously follow a series of predetermined instructions to accomplish tasks provided by a central automated controller of the forklift fleet [13]. AGV forklifts are easy to integrate into MH equipment designed for non-stop operations without stopping time [7]. AGV forklifts have a number of benefits in the MH process, including high positioning precision, large lifting height, and operation in tight spaces, which increases storage area utilization by 25–35% as compared to conventional forklifts. The comparatively expensive investment costs, more money spent for servicing, etc. [7, 8] are few of the main drawbacks.

***AMR (A2)***. As AMR utilizes onboard sensors and computers for getting around, it represents a completely automated system that is capable of independently completing MH operation. AMR is substantially more flexible than conventional AGV systems with a defined route. AMR "learns" by keeping track of its own position and determining routes dynamically based on the current environmental conditions and logistical needs [4]. AMR simultaneously optimizes the route to the next task as obstacles appear along a predetermined route. Some of the main advantages of AMR are high levels of working flexibility, the capacity for autonomous decision-making, a reduction in crossing flows, etc. [4, 8]. AMR has issues with data updates and IT support. The inability to actively load freight is one of the greatest limitations. On the transshipment fronts, robotic arms, cranes, or other equipment that can take up the cargo and function in tandem with the rest of the facility are therefore necessary. When employing AMR for MH assignments, additional considerations must be made due to their reduced capacity and speeds as well as their lengthier battery charge durations [8].

***GTP (A3)***. This technology differs from AS/RS in some respects, as it has expanded possibilities for the realization of storage tasks [2, 5]. In order to reduce unnecessary movement time and provide accurate stock management, goods are kept in predetermined places from where they are automatically picked up and sent to the picker [5]. GTP aims to reduce staff the amount of work, offer high storage volume, and enhance stock flow. Because it can manage a range of items, the system is suitable for order reallocation, straightforward stock replenishment, and other logistical processes. In order to maximize throughput, utilization, precision, and the ability to deliver goods the same day as an order is received, which is essential in the city, the GTP system automatically locates and stores goods [5, 17]. By using GTP, MH activity accuracy is increased and picking errors are decreased. Using the GTP, the picking procedure may be efficiently automated, providing the commodities to the operating staff. This technology's main disadvantages include its high installation costs, inflexibility brought on by capacity limitations, inability to adapt to changing requirements, and protracted system downtime in the event of a breakdown [3, 17].

***TC (A4)***. TC is MH equipment that can be towed by a forklift or other towing vehicle, e.g., a tractor. The possibility of using a forklift in this alternative allows the collection of more orders, regardless of their weight [13]. TC are safer options for use with tractors compared to forklifts due to the characteristics of the vehicle. This is an ideal MH solution for LCs with frequent requests, as it can handle multiple orders at the same time. TCs are designed to fit a dynamic and ever-changing

MH system where requirements change on a daily basis. In combination with a forklift, this alternative represents an upgrade of the existing system [9, 13]. This alternative's primary benefits include its extremely low cost, straightforward implementation, low running costs, and minimal maintenance costs [13]. Workplace safety, productivity, and logistics activity automation are all lower than with other options [9].

### 2.2. Criteria for the evaluation of smart MH solutions

Technical-technological (productivity, technological progress and level of automation), economic (investment costs, cost savings, maintenance expenses), and normative (safety and security, standardization, employee satisfaction) criteria were used to evaluate the provided alternative MH solutions.

***Productivity (C1)*** indicates the overall amount of time needed to complete logistics tasks for each order [6]. ***Technological progress (C2)*** reflects the level of technological advancement, which denotes the degree of its practical applicability [12]. ***Level of automation (C3)*** implies the combining of MH tasks in an effort to lower or eliminate employee engagement [18]. ***Investment costs (C4)*** indicate the initial costs associated with practical implementation of the alternative [6]. ***Cost savings (C5)*** represent a reduction in the cost, primarily related to the payments for employees [6]. ***Maintenance expenses (C6)*** include the price of infrastructure upkeep and service [9]. ***Safety and security (C7)*** implies the health and safety at work standards and the degree of compliance with those standards [1]. ***Standardization (C8)*** identifies the improvement of the operational environment through the adaptation of current local norms to international rules [11]. ***Employee satisfaction (C9)*** entails the capacity to use a new substitute, which presupposes that staff members are aware of the acceptance of new technology [11].

## 3. HYBRID MCDM MODEL

The Fuzzy Factor Relationship (FARE) was used to determine the relative weights of the criteria [10] and Fuzzy COmprehensive Distance Based RAnking (COBRA) was used to rank alternatives [15].

**Step 1**. Define sets of alternatives and criteria for their evaluation. The evaluations are made using linguistic judgment that corresponds to triangular fuzzy numbers (Table 1).

**Table 1:** Criteria/Alternatives evaluation scale

| **Linguistic term** | **Fuzzy scales** |
|---|---|
| "Absolutely preferable/better" (AP/B) | (8,9,10) |
| "Very preferable/better" (VP/B) | (7,8,9) |
| "Strongly preferable/better" (SP/B) | (6,7,8) |
| "Pretty preferable/better" (PP/B) | (5,6,7) |
| "Quite preferable/better" (QP/B) | (4,5,6) |
| "Moderately preferable/better" (MP/B) | (3,4,5) |
| "Remotely preferable/better" (RP/B) | (2,3,4) |
| "Barely preferable/better" (BP/B) | (1,2,3) |
| "Equally important/good" (EI/G) | (1,1,2) |

**Step 2**. Using the correlations in Table 1, experts' judgments are transformed into triangular fuzzy numbers thus forming the matrix of evaluation criteria:

$$\tilde{\Delta} = \left[\tilde{\delta}_{ij}\right]_{n \times n}, \tag{1}$$

where $\tilde{\delta}_{ij} = (l, m, u)$ is the assessment of the criterion $i$ in relation to criterion $j$ ; where $l, m,$ and $u$ are the lower, middle, and upper values of the triangular fuzzy numbers $\tilde{\delta}_{ij}$, and $n$ is the total number of criteria.

**Step 3.** Determine the probable impact of the criteria $\tilde{A}$

$$\tilde{A} = \tilde{B}(n-1) \tag{2}$$

where $\tilde{B}$ is the most significant point on the evaluations' scale.

**Step 4.** Obtain the final fuzzy criteria weights $\widetilde{w}_j$ as:

$$\widetilde{w}_j = {\tilde{A}_j^r}/{\tilde{A}_H}, \forall j = 1, \dots, n \tag{3}$$

where $\tilde{A}_H$ is the potential effect of criterion obtained as:

$$\tilde{A}_H = \left(\min_j l^{\tilde{A}_j^r}, \operatorname*{mean}_j m^{\tilde{A}_j^r}, \max_j u^{\tilde{A}_j^r}\right) \tag{4}$$

and $\tilde{A}_j^r$ is the criterion's actual overall influence of criterion $j$ obtained as:

$$\tilde{A}_j^r = \tilde{A}_j + \tilde{A}, \forall j = 1, \dots, n \tag{5}$$

**Step 5**. Normalize the matrix as follows:

$$\tilde{\Phi} = [\tilde{\varphi}_{kj}]_{p \times o} \tag{6}$$

**Step 6**. Multiply the matrix with the relative weight of the criteria ($w_j$) obtained by the Fuzzy FARE method, and obtain a weighted fuzzy matrix:

$$\tilde{\Phi}_w = [w_j \times \tilde{\varphi}_{kj}]_{p \times o} \tag{7}$$

**Step 7**. For each alternative determine the distance of the alternative from the fuzzy ideal $\left(d(\widetilde{PIS}_j)\right)$, fuzzy anti-ideal $\left(d(\widetilde{NIS}_j)\right)$, fuzzy positive average $\left(d(\widetilde{AS}_j)^+\right)$ and fuzzy negative average $\left(d(\widetilde{AS}_j)^-\right)$ solutions, as follows:

$$d(\tilde{S}_j) = dE(\tilde{S}_j) + \xi \times dE(\tilde{S}_j) \times dT(\tilde{S}_j) \forall_j = 1, \dots, o \tag{8}$$

where:

$\tilde{S}_j$ is any solution $\left(\widetilde{PIS}_j, \widetilde{NIS}_j, or \widetilde{AS}_j\right)$

$\xi$ is the correction coefficient calculation as follows:

$$\xi = \max_k dE(\tilde{S}_j)_k - \min_k dE(\tilde{S}_j)_k \tag{9}$$

$dE(\tilde{S}_j)$ and $dT(\tilde{S}_j)$ denote the Euclidian and Taxicab distances, respectively.

**Step 8**. Rank the alternatives in the ascending order by the distances:

$$dC_k = \frac{d(\widetilde{PIS}_j)_k - d(\widetilde{NIS}_j)_k - d(\widetilde{AS}_j)_k^+ - d(\widetilde{AS}_j)_k^-}{4}, \forall k = 1, \dots, p \tag{10}$$

## 4. RESULTS

The problem described in Section 2 is solved using the methodology presented in Section 3. The linguistic judgments listed in Table 1 are utilized to assess the criteria. Table 2 provides the evaluations.

**Table 2:** Evaluation of criteria by experts

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 | C9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **C1** | / | SP | PP | QP | VP | QP | VP | MP | RP |
| **C2** | | / | SP | PP | | PP | | QP | MP |
| **C3** | | | / | SP | | SP | | PP | QP |
| **C4** | | | | / | | AP | | VP | PP |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **C5** | | VP | SP | PP | / | QP | AP | MP | RP |
| **C6** | | | | | | / | | VP | SP |
| **C7** | | VP | SP | QP | | QP | / | QP | MP |
| **C8** | | | | | | | | / | VP |
| **C9** | | | | | | | | | / |

By applying the fuzzy FARE approach, the crisp values of criteria weights are obtained and presented in Table 3.

**Table 3:** Criteria weights

| **Cj** | **C1** | **C2** | **C3** | **C4** | **C5** | **C6** | **C7** | **C8** | **C9** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Wj** | 0.135 | 0.120 | 0.110 | 0.099 | 0.127 | 0.098 | 0.126 | 0.094 | 0.090 |

The linguistic assessments of the alternatives in relation to the criteria are provided in Table 4.

**Table 4:** Criteria-based evaluation of alternatives

| | **A1** | **A2** | **A3** | **A4** |
|---|---|---|---|---|
| **C1** | BB | QB | MB | VB |
| **C2** | RB | PB | QB | BB |
| **C3** | EG | QB | BB | AB |
| **C4** | BB | QB | VB | RB |
| **C5** | RB | PB | QB | AB |
| **C6** | QB | PB | AB | PB |
| **C7** | EG | QB | BB | AB |
| **C8** | BB | QB | RB | SB |
| **C9** | BB | SB | MB | MB |

The input data for the Fuzzy COBRA method are the criteria weights (Table 3), together with evaluations of the alternatives (Table 4). Table 5 shows the final ranking of the alternatives as determined by the Fuzzy COBRA approach. The collected data demonstrate that the AGV option is the best-ranked followed by GTP, AMR and TC, respectively.

**Table 5:** Ranking of the MH solution

| | | **Norm** | **Rank** |
|---|---|---|---|
| **dC (AGV)** | -0.285 | 0.00 | 1 |
| **dC (AMR)** | 0.051 | 0.77 | 3 |
| **dC (GTP)** | -0.037 | 0.57 | 2 |
| **dC (TC)** | 0.151 | 1.00 | 4 |

## 5. CONCLUSION

Growing urbanization, globalization and increase of e-commerce activities impose challenges to CL. As organizations that combine intralogistics activities with unpredictable client demands in the city, logistics companies confront a number of difficulties in LCs. According to the case study analyzed in the paper, MH's operations have a big impact on the efficiency of the delivery of goods in the city. One strategy for overcoming the major difficulties in getting goods ready for delivery in LCs is to optimize MH operations. As a result, the primary objective of this paper was to rank MH equipment for an LC of a logistics company that makes deliveries within the city. The AGV forklift is the best option for the observed case study, based on the criteria taken into account. The LC of the assessed organization must make a few small adjustments to the current MH system in order to implement this solution, which is one of the main advantages of this solution. Additionally, it suggests a high level of automation in logistics systems, improved workplace safety, lower costs, improved warehouse space compared to traditional electric forklifts, and other benefits that favor it over other options. One of the main issues is the development and execution of appropriate solutions that enable more effectively implementing client needs because MH alternatives require the informational preparedness of all CL subjects.

## REFERENCES

[1] Asadi, S., Nilashi, M., Iranmanesh, M., Hyun, S. S., & Rezvani, A. (2022). Effect of internet of things on manufacturing performance: A hybrid multi-criteria decision-making and neuro-fuzzy approach. Technovation, 118, 102426.

[2] Azadeh, K., De Koster, R., & Roy, D. (2019). Robotized and automated warehouse systems: Review and recent developments. Transportation Science, 53, 917-945.

[3] Bozer, Y. A., & Aldarondo, F. J. (2018). A simulation-based comparison of two goods-to-person order picking systems in an online retail setting. International Journal of Production Research, 56, 3838-3858.

[4] Chen, Y., Wang, Q., Chen, H., Song, X., Tang, H., & Tian, M. (2019, June). An overview of augmented reality technology. In Journal of Physics: Conference Series, 1237, 022082.

[5] da Costa Barros, Í. R., & Nascimento, T. P. (2021). Robotic mobile fulfillment systems: A survey on recent developments and research opportunities. Robotics and Autonomous Systems, 137, 103729.

[6] Ghelichi, Z., & Kilaru, S. (2021). Analytical models for collaborative autonomous mobile robot solutions in fulfillment centers. Applied Mathematical Modelling, 91, 438-457.

[7] Tompkins, J. A. White, J. A., Bozer, Z. A., & Tanchoco J. M. (2010). Material Handling. Facilities planning, 4, 175-215.

[8] Jung, E. J., Choi, J. Y., Hong, S. H., & Chung, G. (2016, August). Localization for an unmanned forklift in a refrigerated warehouse. In 2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence *(URAI)*, 53-55.

[9] Kokkula, S., & Gundekarla, S. (2020). Cooperation of Robots in Manufacturing. 7, 1-10.

[10] Krstić, M., Tadić, S., Elia, V., Massari, S., & Farooq, M. U. (2023). Intermodal Terminal Subsystem Technology Selection Using Integrated Fuzzy MCDM Model. Sustainability, 15, 3427.

[11] Llopis-Albert, C., Rubio, F., & Valero, F. (2021). Impact of digital transformation on the automotive industry. Technological forecasting and social change, 162, 120343.

[12] Agatz, N., Bouman, P., & Schmidt, M. (2018). Optimization approaches for the traveling salesman problem with drone. Transportation Science, 52, 965–981.

[13] Polak-Sopinska, A. (2019). Incorporating human factors in in-plant milk run system planning models. In Human Systems Engineering and Design: Proceedings of the 1st International Conference on Human Systems Engineering and Design (IHSED2018): Future Trends and Applications, October 25-27, 2018, CHU-Université de Reims Champagne-Ardenne, France 1, 160-166.

[14] Tadić, S. R., Zečević, S. M., & Krstić, M. D. (2014). City logistics initiatives aimed at improving sustainability within existing context of urban area. Tehnika, 69, 487–495.

[15] Tadić, S., Krstić, M., Dabić-Miletić, S., & Božić, M. (2023). Smart Material Handling Solutions for City Logistics Systems. Sustainability, 15, 6693.

[16] Tadić, S., Zečević, S., & Krstić, M. (2015). City logistics-status and trends. International Journal for Traffic & Transport Engineering, 5(3), 319–343

[17] Tubis, A. A., Ryczyński, J., & Żurek, A. (2021). Risk assessment for the use of drones in warehouse operations in the first phase of introducing the service to the market. Sensors, 21, 6713.

[18] Yavas, V., & Ozkan-Ozen, Y. D. (2020). Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 135, 101864.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# MATEMATIČKI MODEL ZA REŠAVANJE PROBLEMA HITNE DISTRIBUCIJE KRVI

# MATHEMATICAL MODEL FOR SOLVING THE PROBLEM OF EMERGENCY BLOOD DISTRIBUTION

PREDRAG GROZDANOVIĆ[1], DRAŽEN POPOVIĆ [1]

[1] Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, {p.grozdanovic, d.popovic}@sf.bg.ac.rs

---

***Rezime:*** *U slučaju raznih poremećaja u lancu snabdevanja krvlju dolazi do potrebe za njegovom reorganizacijom, a sa ciljem što bržeg odgovora na novonastalu situaciju. Iz tog razloga u ovom radu predložen je model koji se bavi distribucijom postojeće količine krvi u institutu i bolnicama do bolnica zahvaćenih poremećajem. Predloženi model ima dva cilja. Prvi cilj je da se krv u što kraćem roku dostavi do lokacije poremećaja, a drugi cilj je da se što manje krvi preuzme iz bolnica koje nisu zahvaćene poremećajem ukoliko u institutu nema dovoljno krvi. Kreirani model je testiran na 160 instanci i u 98% slučajeva uspeo je da pronađe optimalan plan distribucije krvi u raspočoživom vremenu rada računara.*

***Ključne reči:*** *Lanac snabdevanja krvlju, poremećaji, rutiranje*

***Abstract:*** *In the case of various disturbances in the blood supply chain, there is a need for its reorganization, with the aim of responding as quickly as possible to the new situation. For this reason, the paper proposes a model that deals with the distribution of the existing amount of blood in the institute and hospitals to the hospitals affected by the disorder. The proposed model has two goals. The first goal is to deliver blood to the location of the disorder as soon as possible, and the second goal is to collect as little blood as possible from hospitals that are not affected by the disorder if there is not enough blood in the institute. The created model was tested on 160 instances and in 98% of cases it managed to find the optimal blood distribution plan in the available computer time.*

***Keywords:*** *Blood supply chain, disorder, routing*

---

## 1. UVOD

Snabdevanje bolnica jedinicama krvi je vrlo slozen i frekventan proces. Ovakve isporuke se realizuju svakog ili svakog drugog dana u zavisnosti od zahteva bolnica. Stoga je proces optimizacije distribucije krvi bolnicama jako važan problem, posebno u slučaju kada dođe do poremećaja koji zahtevaju promenu postojećeg plana distribucije. Neki od potencijalnih poremećaja su teroristički napad, neadekvatno čuvanje jedinica krvi, razne vrste požara, eksplozija i slično.

Cilj ovog rada je kreiranje modela koji će omogućiti da se zahtevana količina krvi isporuči bolnici najbližoj mestu poremećaja u što kraćem vremenskom roku, a da se pri tome vodi računa da se ne naruši normalan rad preostalih bolnica u sistemu. Za razliku od većine radova iz literature koji prave plan prikupljanja nove količine krvi, a zatim distribucije te krvi, u ovom radu rešavan je problem distribucije raspoloživih količina krvi. Prilikom pretrage literature nije pronađen rad koji se bavi rešavanjem ovako postavljenog problema. Najveći broj radova u literaturi u slučaju lanca za snabdevanje krvlju bavi se najpre rešavanjem problema prikupljanja krvi pomoću postavljanja privremenih objekata ili korišćenja postojećih, a tek onda distribucijom prikupljene krvi. Kaya i Ozkok u radu [4] su rešavali problem distribucije krvi iz instituta do bolnica u normalnim uslovima. Ideja njihovog modela bila je da se smanje troškovi distribucije i poveća odzivnost sistema na potražnju krvi uvođenjem novog nivoa između instituta i bolnica (lokalne banke krvi). Sistem bi tada funkcionisao tako što se krv iz instituta šalje u lokalne centre na svakih dva dana, a zatim bi lokalni centari opsluživali bolnice češćim isporukama. Hosseini-Motlagh i ostali se u radu [3] bave rešavanjem problema lociranja privremenih skloništa za vanredne situacije, a zatim i distribucije krvi iz instituta i banaka krvi do tih objekata, pri čemu se istovremeno vodi računa o zalihama krvi. U radu [5], autora Khalilpourazari i Doulabi rešavan je problem prikupljanja krvi pomoću pokretnih i statičnih objekata, zatim dostave prikupljene krvi helikopterima i vozilima hitne pomoći do instituta za krv i na kraju distribuciju krvi do bolnica. Ovakav model je pogodan za korišćenje u slučaju normalnih uslova, ali ne i u slučaju poremećaja. Sličan problem rešavan je u radu [8]. Razlika u radu autora Razavi [8] u odnosu na rad autora Khalilpourazari i Doulabi [5] je u tome što se krv ne transportuje helikopterima od stanica za prikupljanje do instituta, kao i u tome što se nakon sakupljanja krvi ista direktno distribuira do lokacije poremećaja. Za razliku od modela u radu [5], model razvijen u radu [8] je pogodan za primenu u slučaju poremećaja, ali je njegova mana nepredvidivost vremena u kojem je potrebno prikupiti krv. S obzirom da ovo vreme zavisi od mnogo faktora, u slučaju da je hitnost zahteva za krvlju visoka može doći do zakašnjenja prilikom isporuke. Ma zajedno sa još nekoliko autora u radu [6] rešavali su problem alociranja krvi iz instituta na banke krvi koje se nalaze u pogođenim područjima, bez rešavanja problema rutiranja vozila. Oni u svom radu definišu da je vreme potrebno za dostavu krvi 24h, a s obzirom da se u njihovom primeru banke krvi nalaze u neposrednoj blizini instituta, oni se ne bave rutiranjem vozila. Rad [2] autora Belien i Force je prvi BSC (Blood Supply Chain) pregledni rad i obuhvata radove objavljene između 1966. i 2010. godine. Međutim, Osorio sa još nekoliko autora u radu [7] pruža najsveobuhvatniji pregled BSC-a, jer se broj BSC studija značajno povećao nakon 2010. godine. Najnoviji pregled literature iz oblasti kvantitativnih modela lanca snabdevanja krvlju u slučaju poremećaja može se naći u radu [1] autora Asadpour. U pomenutom radu pregled literature dat je po ešalonima u lancu snabdevanja krvlju: prikupljanje krvi, proizvodnja krvi i distribucija krvi.

Treba napomenuti da najveći broj modela koji su razvijeni za rešavanje problema u lancu snabdevanja krvi ima za cilj minimizaciju troškova distribucije, lociranje objekata i slično, a ne minimizaciju vremena odgovora na postavljeni zahtev u slučaju poremećaja. Prednost modela predloženog u ovom radu je to što se on bavi distribucijom raspoloživih zaliha krvi u sistemu. Distribucija krvi se vrši iz dva tipa objekata: instituta i bolnica. Institut je objekat u zdravstvenom sistemu čija je osnovna namena prikupljanje krvi sa ciljem snabdevanja bolnica. Iz tog razloga u modelu je definisano da se distribucija krvi prvo realizuje iz instituta, a tek ukoliko u institutu nema dovoljno krvi da zadovolji zahteve u plan distribucije uključuje se i ostale bolnice koje nisu zahvaćene poremećajem. U preglednim radovima iz ove oblasti napomenuto je da je mana dosadašnjih istraživanja u oblasti distribucije krvi upravo nemogućnost primene kreiranih modela trenutno, u postojećem stanju u praksi, a model razvijen u ovom radu upravo to pruža. Model pravi plan distribucije sa raspoloživim zalihama krvi, a pri tome vodi računa da što manje naruši zalihe u bolnicama koje nisu zahvaćene poremećajem, kako bi one mogle normalno da funkcionišu.

## 2. OPIS PROBLEMA

U ovom radu posmatran je problem distribucije raspoloživih zaliha krvi iz dva tipa objekata (instituta i bolnica) do bolnica zahvaćenih poremećajem. Cilj rada je bio da se razvije model koji bi omogućio distribuciju krvi na mesta poremećaja u što kraćem vremenskom roku, a da se pri tome što manje poremeti rad ostalih bolnica koje nisu zahvaćene poremećajem.

Kada je u pitanju snabdevanje bolnica krvljju, one se u normalnim uslovima snabdevaju iz instituta svakog dana ili svakog drugog ili tećeg u zavisnosti od potreba. Svaka bolnica ima određene količine krvi na zalihama koje omogućavaju njihovo normalno funkcionisanje u određenom vremenskom periodu. Čim nivo zaliha dođe blizu miminuma, bolnice potražuju krv od instituta i na taj način nikad ne dozvoljavaju da zalihe padnu ispod minimuma. Međutim, u slučaju velikih poremećaja poput terorističkih napada ili eksplozija dolazi do naglog porasta zahteva za krvlju od strane bolnica koje se nalaze u blizini mesta nezgode. U tom slučaju institut za krv ne može samostalno odgovoriti na postavljene zahteve, što dovodi do toga da sve bolnice koje nisu zahvaćene poremećajem postaju potencijalne lokacije iz kojih se može preuzeti krv i na taj način zadovoljiti potražnja bolnice u blizini koje se poremećaj dogodio. Institut, kao i svaka od bolnica ima određene količine krvi na zalihama. Za svaku bolnicu kao i institut definisan je nivo zaliha po krvnim grupama. Iz svake bolnice se može uzeti krv, ali se u toj situaciji povećava rizik da bolnica neće imati dovoljno krvi za svoje normalno funkcionisanje. Iz tog razloga prilikom definisanja plana distribucije treba težiti da se više krvi preuzima iz instituta kao primarnog izvora krvi, a tek ukoliko institut nema dovoljno zaliha da se krv preuzima iz sekundarnog izvora, odnosno bolnica. Cilj prilikom rešavanja ovog problema je odrediti rutu kojom će vozilo posećivati bolnice, kao i broj jedinica krvi svake krvne grupe koji će biti preuzet od bolnica koje se u ruti posećuju, kao i od instituta. Sve to je potrebno uraditi sa ciljem da vreme isporuke krvi na lokaciju poremećaja bude što kraće, a da se pritom što manje krvi preuzme iz bolnica kako se ne bi ometao njihov rad. Na taj način sistem brzo reaguje na poremećaj sa dostupnim resursima, odnosno količinama krvi, a pri tome vodi računa da zadrži normalan rad ostalih (bolnica) koje nisu zahvaćene poremećajem.

Treba imati u vidu da broj poremećaja može biti veći od jedan, dok je broj instituta iz kojih se bolnice snabdevaju krvlju uvek jedan. Na primer, istovremeno može da se desi eksplozija u dva različita grada i na taj način dve najbliže bolnice postaju lokacije poremećaja. Svaki poremećaj snabdeva jedno vozilo, s obzirom da je jedna jedinica krvi jako malih dimenzija te je i u slučaju najvećih dimenzija poremećaja, kada se zahteva i preko 1000 jedinica krvi dovoljno jedno vozilo. To znači da broj vozila zavisi od broja poremećaja, odnosno broj vozila je jednak broju poremećaja. Takođe, treba napomenuti da prilikom sakupljanja krvi jedna bolnica može biti posećena od strane više vozila.

## 3. MATEMATIČKI MODEL

U ovom poglavlju biće najpre opisane oznake koje su korišćene prilikom formulacije matematičkog modela za opisani problem, a zatim će i sama matematička formulacija biti prikazana i detaljnije objašnjena.

Indeksi:

$k$ - vozilo za distribuciju krvi ($k \in K$), vozila su dodeljena poremećajima ($d \in D=K$)
$i$ - čvor izvora krvi ($i \in H$), $i=0$ je institut a $i>0$ su bolnice iz kojih se šalje krv
$s$ – krvna grupa ($s \in S$), $S=(0, A, B, AB)$
$f$ – segment u funkciji cilja $f=(1, 2, 3)$

Parametri:

$Q_s^d$- količina krvne grupe $s$ potrebna za poremećaj $d$
$Z_{is}$ - zalihe krvne grupe $s$ u čvoru $i$
$t_{ij}$ - vreme putovanja vozila na linku $(i,j)$
$t_i^{ser}$ - vreme opsluga u čvoru $i$
$w_f$ – težinski koeficijent koji definiše značajnost segmenta $f$ u funkciji cilja

Promenljive:

$t_i^k$ - vreme posete čvora $i$ od strane vozila $k$
$x_{is}^k$ - količina krvne grupe $s$ koju je preuzelo vozilo $k$ u čvoru $i$
$p_i^k$ - binarna promenljiva koja je jednaka 1 ako vozilo $k$ uzima krv iz čvor $i$
$y_{ij}^k$ - binarna promenljiva koja je jednaka 1 ako vozilo $k$ ide od čvora i do čvora $j$

Funkcija cilja:

$$\min \rightarrow F = w_1 \sum_{k\in K} \sum_{i \in D} t_i^k + w_2 \cdot \sum_{k \in K} \sum_{\substack{i \in H \\ i \neq 0}} \sum_{s \in S} x_{is}^k + w_3 \cdot \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} x_{0s}^k \tag{1}$$

Ograničenja:

$$\sum_{i \in H} x_{is}^k = Q_s^d \qquad \forall s \in S, \forall k \in K, k = d \tag{2}$$

$$\sum_{k \in K} x_{is}^k \leq Z_{is} \qquad \forall i \in H, \forall s \in S \tag{3}$$

$$p_i^k \geq \frac{1}{M_1} \sum_{s \in S} x_{is}^k \qquad \forall k \in K, \forall i \in H \tag{4}$$

$$t_i^k - M_3 \cdot p_i^k \leq 0 \qquad \forall i \in H, \forall k \in K \tag{5}$$

$$p_d^k = 1 \qquad \forall\, d = k \in K \tag{6}$$

$$p_d^k = 0 \qquad \forall d \neq k \in K \tag{7}$$

$$\sum_{i \in (H \cup D)} y_{ij}^k = p_j^k \quad \forall k \in K, \forall j \in (H \cup D), i \neq j \tag{8}$$

$$\sum_{j \in (H \cup D)} y_{ij}^k = p_i^k \quad \forall k \in K, \forall i \in (H \cup D), i \neq j \tag{9}$$

$$\sum_{j \in (H \cup D)} y_{0j}^k = 1 \qquad \forall k \in K \tag{10}$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in H} y_{id}^k = 1 \qquad \forall d \in D \tag{11}$$

$$\sum_{i \in (H \cup D)} y_{i0}^k = 0 \qquad \forall k \in K \tag{12}$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in H} y_{dj}^k = 0 \qquad \forall d \in D \tag{13}$$

$$t_i^k + y_{ij}^k \cdot \left(t_{ij} + t_i^{ser}\right) \le t_j^k + M_2 \cdot \left(1 - y_{ij}^k\right) \qquad \forall k \in K, \forall i,j \in (H \cup D), i \neq j, j \neq 0 \tag{14}$$

$$t_i^k \geq 0 \quad \forall i \in (H \cup D), \forall k \in K \tag{15}$$

$$x_{is}^k \geq 0 \qquad \forall i \in H, \forall s \in S, \forall k \in K \tag{16}$$

Funkcija cilja je minimizacionog tipa i sastoji se iz tri segmenta (1). Prvi segment se odnosi na vreme potrebno da se krv dostavi na lokacije poremećaja. Drugi segment se odnosi na broj jedinica krvi koji je prikupljen u bolnicama, dok se treći sgment odnosi na broj jedinica krvi koji je prikupljen u institutu. Cilj je da se što više krvi prikupi u institutu, a što manje od bolnica kojima su zalihe krvi neophodne za funkcionisanje i koje imaju određene rezerve koje ne treba mnogo da se troše. Važnost segmenata u funkciji cilja se definiše preko težinskih koeficijenata $w_f$. Kao najvažniji element funkcije cilja definisano je vreme potrebno da se poremećaji opslože ($w_1$). Drugi segment po važnosti je količina krvi koja se sakuplja od bolnica ($w_2$) i na trećem mestu količina krvi koja se prikupi u institutu ($w_3$). Treba napomenuti da segmenti u funkciji cilja nisu iste veličine. Prvi segment je vreme, dok su drugi i treći segment količine. S obzirom da je funkcija cilja minimizacionog tipa i manju količinu krvi treba prikupiti u bolnicama $w_2 > w_3$. Prilikom definisanja vrednosti za ($w_1$) treba voditi računa koja vremenska jedinica se koristi, a važnost ovog segmenta mora biti najveća.

Ograničenje (2) se odnsi na to da svako mesto poremećaja mora dobiti onoliko jedinica krvi određene krvne grupe *S*, koliko i potražuje. Ograničenje (3) obezbeđuje da vozila ne mogu preuzeti više jedinica krvi od količine koja se nalazi na zalihama u bolnicama, odnosno u institutu. Ograničenja (4 i 5) definišu da li je čvor *i* posećen ili ne, dok ograničenja (6 i 7) služe za dodelu vozila poremećajima. Ograničenja (8 i 9) ukazuju na to da ukoliko postoji poseta čvoru od strane vozila *k*, onda suma ulaznih grana tog vozila u cvor i mora biti jednaka 1, odnosno suma izlaznih grana mora biti jednaka 1. Ograničenja (10 - 13) spadaju u ograničenja tokova na mreži. Ograničenje (10) obezbeđuje da svako vozilo $k \in K$ mora napustiti depo, dok se ograničenje (11) odnosi na to da na svaku od lokacija poremećaja mora doći tačno jedno vozilo. Ograničenje (12) obezbeđuje da vozila ne mogu doći od drugih čvorova do depoa (instituta), dok ograničenje (13) obezbeđuje da vozila ne mogu otići od lokacije poremećaja u neki drugi čvor. Ograničenje (14) eliminiše podture (manje izdvojene ture zatvorenog tipa) na način da vreme posete svakog narednog čvora u ruti mora biti veće od vremena posete prethodnog čvora. Ograničenja (15 i 16) se odnose na nenegativnost promenljivih.

## 4. INSTANCE I REZULTATI

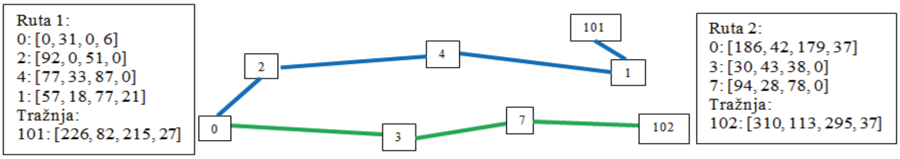
Za testiranje kreiranog modela generisano je 16 različitih grupa instanci. Pri tome, za svaku grupu kreirano je po 10 instanci, što znači da je model testiran na ukupno 160 instanci. Kod polovine instanci prostor u kom se nalaze bolnice i poremećaji je isti (0 km, 200 km), odnosno manja je udaljenost poremećaja od izvora krvi. Kod druge polovine instanci bolnice se nalaze u prostoru (0 km, 50 km), a poremećaji (150 km, 200 km), odnosno poremećaj se nalazi na većoj udaljenosti od izvora krvi. Sa aspekta večičine potražnje definisano je dva tipa instanci: potražnja 60%-80% raspoloživih zaliha (*veće Q*) i potražnja 20%-30% (*manje Q*). Sa aspekta raspoloživog broja bolnica model je testiran u slučaju 5 i 8 bolnica, dok je u pogledu dimenzija poremećaja model testiran u slučajevima jednog i dva poremećaja na mreži. U svakoj instanci zalihe krvi po grupama definisane su u sledećoj razmeri 0:A:B:AB=41:15:39:5, i to na osnovu grupa krvi zastupljenih u Srbiji [9]. Pre samog testiranja modela potrebno je definisati vrednosti težinskih koeficijenata u funkciji cilja. Na osnovu testiranja modela težinski koeficijenti su podešeni na sledeće vrednosti: $w_1$=285, $w_2$=15, $w_3$=1. Zbog pojednostavljenja modela, ali i zbog toga što prema istraživanjima više od 93% populacije ima pozitivan RhD faktor, u modelu je definisano da postoji četiri različite krvne grupe bez obzira na RhD faktor [9]. Za rešavanje predloženog modela korišćen je ILOG CPLEX 12.1 na 64-bitnom računaru ACER sa procesorom Intel(R) Core(TM) i5 2.50 GHz i 8 GB ram memorije.

Rezultati modela prikazani su u tabeli 1 kao prosečne vrednosti po grupama instanci. U prvoj koloni prikazane su grupe instanci na kojima je vršeno testiranje. Druga kolona prikazuje procenat zahtevane količine krvi koja je prikupljena u institutu po grupama, dok treća kolona prikazuje procenat zahtevane količine krvi koja je prikupljena u bolnicama po grupama. Četvrta kolona se odnosi na vrednost funkcije cilja, peta na potrebno vreme rada računara da se dođe do rešenja i šesta kolona na vreme potrebno vozilu da isporuči zahtevane količine krvi na mesta poremećaja. Na osnovu rezultata u tabeli 1 može se videti da je u proseku vreme rada računara isto ili veće za grupu instanci u kojoj se poremećaji nalaze na većoj udaljenosti od izvora krvi. Takođe, vreme potrebno da se isporuči krv na mesta poremećaja je veće kada su poremećaji na obodu grada, nego kada se nalaze u blizini bolnica i instituta. Kod instanci kod kojih je potražnja manja ( manje Q, između 20% i 30%) može se videti da se skoro sva krv prikuplja u institutu, naročito kod instanci koje na mreži imaju 5 bolnica. Takođe, kod instanci koje imaju veću potražnju (veće Q, između 60% i 80%), većina krvi je prikupljena u institutu, a manji deo od bolnica, jer u tim situacijama institut nije imao dovoljno krvi da sam zadovolji zahteve poremećaja. Model je za instance u okviru 15 grupa uvek uspevao da nađe optimalno rešenje, za maksimalno dozvoljeno vreme rada računara (3600s). Za grupu sa najvećom dimenzijom problema (prostor, potrežnja, broj poremećaja i bolnica) u 7 instanci model je uspeo da pronađe optimalno rešenje, a u preostale 3 instance „mipGAP" (CPLEX parametar) u proseku iznosi 0,03%. Za grupu instanci sa najvećom dimenzijom problema može se videti kako je vreme rada računara (CPU time) značajno veće u odnosu na ostale instance. Na osnovu toga se može zaključiti da se predloženi model može koristiti za manje instance do 8 bolnica i do 2 poremećaja, dok bi za problem većih dimenzija bilo potrebno razviti heuristički algoritam.

**Tabela 1:** Rezultati testiranja modela

| Grupe instanci | | | | Procenat prikupljene krvi u institutu | | | | Procenat prikupljne krvi u bolnicama | | | | F-ja | CPU [s] | T [min] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Prostor** | **Q** | **\|D\|** | **\|H\|** | **0** | **A** | **B** | **AB** | **0** | **A** | **B** | **AB** | | | |
| **Manja udaljenost poremećaja** | **Manje Q** | **1** | **5** | 99.79 | 100.00 | 99.20 | 98.84 | 0.21 | 0.00 | 0.80 | 1.16 | 19894.5 | 0.10 | 195 |
| | | | **8** | 76.89 | 87.22 | 82.23 | 95.83 | 23.11 | 12.78 | 17.77 | 4.17 | 26068.0 | 3.92 | 242 |
| | | **2** | **5** | 98.02 | 100.00 | 99.67 | 100.00 | 1.98 | 0.00 | 0.33 | 0.00 | 42396.9 | 0.41 | 237 |
| | | | **8** | 75.15 | 86.17 | 76.24 | 96.69 | 24.85 | 13.83 | 23.76 | 3.31 | 46094.8 | 32.74 | 271 |
| | **Veće Q** | **1** | **5** | 52.96 | 64.71 | 56.74 | 83.21 | 47.04 | 35.29 | 43.26 | 16.79 | 39540.0 | 0.24 | 340 |
| | | | **8** | 33.56 | 40.98 | 33.63 | 63.51 | 66.44 | 59.02 | 66.37 | 36.49 | 55210.3 | 10.58 | 421 |
| | | **2** | **5** | 52.42 | 70.33 | 58.91 | 87.92 | 47.58 | 29.67 | 41.09 | 12.08 | 52234.3 | 1.14 | 298 |
| | | | **8** | 35.33 | 43.18 | 35.40 | 70.03 | 64.67 | 56.82 | 64.60 | 29.97 | 68666.2 | 585.15 | 339 |
| **Veći udaljenost poremećaja** | **Manje Q** | **1** | **5** | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 30429.7 | 0.11 | 301 |
| | | | **8** | 79.46 | 85.49 | 79.35 | 100.00 | 20.54 | 14.51 | 20.65 | 0.00 | 34242.8 | 4.46 | 323 |
| | | **2** | **5** | 100.00 | 100.00 | 99.92 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 61174.9 | 0.68 | 316 |
| | | | **8** | 77.05 | 88.50 | 79.96 | 97.76 | 22.95 | 11.50 | 20.04 | 2.24 | 64019.5 | 88.60 | 322 |
| | **Veće Q** | **1** | **5** | 53.44 | 68.22 | 52.67 | 91.46 | 46.56 | 31.78 | 47.33 | 8.54 | 39709.0 | 0.24 | 341 |
| | | | **8** | 32.27 | 41.93 | 33.60 | 60.47 | 67.73 | 58.07 | 66.40 | 39.53 | 49399.8 | 12.98 | 364 |
| | | **2** | **5** | 54.08 | 65.36 | 56.07 | 85.64 | 45.92 | 34.64 | 43.93 | 14.36 | 69731.2 | 1.14 | 334 |
| | | | **8** | 33.55 | 41.30 | 35.45 | 66.51 | 66.45 | 58.70 | 64.55 | 33.49 | 79347.0 | 2567.80 | 343 |

Na slici 1 prikazan je izgled ruta u slučaju kada se poremećaji i bolnice nalaze u istom prostoru i kada je potražnja krvi između 60% i 80% od raspoložive krvi u sistemu. U posmatranom primeru došlo je do dva poremećaja na mreži i njih je potrebno opslužiti. Vozilo 1 u ruti posećuje institut i tri bolnice, a vozilo 2 pored instituta prikuplja krv od još dve bolnice, pa se zatim upućuje na mesto poremećaja koje je tom vozilu dodeljno. Od 8 bolnica na mreži krv je morala biti preuzeta od 5, dok je nivo zaliha krvi u preostale 3 bolnice ostao netaknut (5, 6 i 8). Na slici se može videti za svaki objekat na mreži koliko je krvi preuzeto iz njega. Vreme koje je potrebno da se opsluži poremećaj označen sa 101 iznosi 341 minut, dok za poremećaj označen sa 102 iznosi 265 minuta. Vrednost funkcije cilja iznosi 73441, dok je vreme rada računara 168 sekundi.



**Slika 1:** Rute vozila koja opslužuju poremećaje u instanci testiranoj instanci

## 5. ZAKLJUČAK

Poslednjih godina sve su česći primeri dešavanja raznih poremećaja poput terorističkih napada, zemljotresa, industrijaskih akcidenata ili pandemija. Posledica pomenutih situacija jeste povećanje zahteva za jedinicama krvi u bolnicama koje se nalaze u blizini poremećaja. Iz tog razloga se javila potreba za kreiranjem modela koji će omogućiti što kraće vreme odgovora na postavljene zahteve, uz minimalan uticaj na rad preostalog dela sistema koji nije zahvaćen poremećajem. Prednost kreiranog modela u odnosu na modele u literaturi je to što pokušava da odgovori na postavljene zahteve sa raspoloživim zalihama krvi u što kraćem roku, sa ciljem da što manje poremeti rad čitavog sistema. Kod postojećih modela u literaturi, reakcija na novonastali poremećaj zavisi od zainteresovanosti dobrovoljnih davaoca krvi, što prouzrokuje pored neizvesnosti i značajno duže vreme potrebno da se krv dostavi na mesto poremećaja. Model kreiran u ovom radu ima mogućnost direktne primene u praksi. Na osnovu rezultata testiranja može se zaključiti da je model pogodan za korišćenje u slučaju jako malih dimenzija problema, jer je vreme rešavanja veoma dugo na primeru 8 bolnica i dva poremećaja. Iz tog razlogu u budućnosti treba razmišljati o razvijanju heurističkog ili metaheurističkog algoritma koji će omogućiti rešavanje postavljenog problema srednjih i velikih dimenzija. Takođe, u budućnosti, pored rutiranja može se istovremeno voditi računa i o nivou zaliha u čitavom sistemu.

## NAPOMENA

Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekata TR 36002 i TR 36006 za period 2011-2023.

## LITERATURA

[1] Asadpour, M., Olsen, T.L. i Boyer, O. (2022). An updated review on blood supply chain quantitative models: A disaster perspective. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* 158.

[2] Belien, J. i Force, H. (2012). Supply chain management of blood products: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 217, 1-16.

[3] Hosseini-Motlagh, S.-M., Samani, M.R.G. i Homaei, S. (2020). Toward a coordination of inventory and distribution schedules for blood in disasters. *Socio-Economic Planning Sciences*, 72.

[4] Kaya, O. i Ozkok, D. (2020). A Blood Bank Network Design Problem with Integrated. Facility Location, Inventory and Routing Decisions. *Networks and Spatial Economics,* 20(5), 757-783.

[5] Khalilpourazari, S., Hashemi Doulabi, H. (2022). A flexible robust model for blood supply chain network design problem. *Annals of Operations Research*, 1-26.

[6] Ma, Z.-J., Wang, K.-M. i Dai, Y. (2018). An Emergency Blood Allocation Approach Considering Blood Group Compatibility in Disaster Relief Operations. *International Journal of Disaster Risk Science*, 10, 74–88.

[7] Osorio, A.F., Brailsford, S.C. i Smith, H.K. (2015). A structured review of quantitative models in the blood supply chain: a taxonomic framework for decision-making. *International Journal of Production Research,* 53,1-22.

[8] Razavi N., Gholizadeh, H., Nayeria, S. i Ashrafi, T.A. (2020). A robust optimization model of the field hospitals in the sustainable blood supply chain in crisis logistics. *Journal of the Operational Research Society,* 72(4), 1-26.

[9] https://www.medlab.rs/rasprostranjenost-krvnih-grupa-u-svetu-i-srbiji/ [Pristupano 12.2.2023.]

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# SELECTION OF THE STARTING POINT OF E-ORDER DELIVERY USING ADAM METHOD

SNEŽANA TADIĆ[1], MLADEN KRSTIĆ[2], MILOŠ VELJOVIĆ[3], MILOVAN KOVAČ[4]

University of Belgrade - Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade,
[1] s.tadic@sf.bg.ac.rs [2] m.krstic@sf.bg.ac.rs [3] m.veljovic@sf.bg.ac.rs [4] m.kovac@sf.bg.ac.rs

---

***Abstract:*** *The fulfillment quality of online orders depends, among other things, on the distribution strategy, i.e. the location where stocks are stored, orders are prepared and delivery begins. The starting point of delivery can be an omnichannel or dedicated distribution center of the retailer/manufacturer/retailer's supplier, sales or warehouse space of retail stores, or it can be a combination of several different starting points. The selection of the appropriate starting point affects the profitability and success of the company's operations, but also the quality of the product and delivery service. In this paper, a model for selection the optimal starting point of delivery is defined, based on multi-criteria decision-making, and tested on the example of a trading company from Belgrade. As the best alternative, a dedicated distribution center was selected in this case.*

***Keywords:*** *home delivery, e-commerce, starting point, distribution centre, retail store, ADAM*

---

## 1. INTRODUCTION

The development and expansion of e-commerce causes significant changes in terms of sales and logistics. Managing these changes involves numerous challenges, efforts and investments in infrastructure and processes. product storage and distribution capabilities, as well as (re)designing logistics systems and processes [7]. One of the important decisions in this context is defining the starting point of delivery of online orders. The suitability of some type and location of the starting point depends on many factors (type of goods, characteristics of existing distribution and sales channels, volume of online and offline demand, level of service offered or required, etc.). Due to specific characteristics (easy perishability or fragility, high value, large dimensions, etc.) and the logistical requirements arising from them, distribution channels with shorter distances, fewer participants and intermediate points are adequate for certain types of goods. The characteristics of the existing distribution and sales channels are also a significant factor influencing the selection of starting point. Companies that do online sales and home delivery can be [3]: manufacturers of goods, traditional retailers and wholesalers, Internet companies without physical assets and Internet companies with physical assets. Apart from these, companies that sell exclusively offline can also provide a home delivery service (e.g. selling furniture). Sales and logistics can be single-channel (exclusively online or exclusively offline), multi-channel (parallel functioning of independent logistics systems for physical and online channels, without mutual operational coordination, exchange of goods, etc. [1, 15] or omnichannel (integration of channels) [7]. The volume and characteristics of customer demand also influence the selection of the starting point.

The direct influence of the mentioned factors on selecting the type of delivery starting point cannot be easily quantified. Therefore, criteria that can be quantified or at least evaluated using the linguistic terms, must be defined for the final selection of the delivery starting point. These criteria are derived from the decisions by the delivery organizers (costs, risk management, scalability, etc.) or from the level of service that the customer requires or expects (user experience, delivery time, etc.). However, there are also criteria that are significant for the broader social and natural environment (e.g. sustainability).

Many authors have dealt with the starting points of online order delivery. De Koster [4] investigated the relationships between customer service, the company's internal organizational complexity and distribution channels in e-commerce, as well as the selection of distribution strategy. Janjevic & Winkenbach [8] provided an overview and comparison of different last-mile distribution strategies and highlighted the factors influencing the choice of network design decisions. Tadić & Veljović [13] described the advantages and disadvantages of different types of home delivery starting points and the situations in which they are applied. Nevertheless, although in many papers multi-criteria decision-making methods were used to select the location of logistics network facilities (e.g. [12, 16]), by reviewing the literature, the authors did not find any research in which the selection of the starting point of delivery was made using these methods.

The above and other significant criteria will be described in this paper and used to evaluate certain types of starting points for delivery of online orders, in order to find the optimal alternative. The main goal and contribution of the paper is to define a model for selection the starting point of home delivery of online orders. The applicability of the model will be demonstrated on a real-life example.

The paper is organized as follows. After the introduction, the second section describes the role of the starting point and the places in the supply chain that can perform this function, i.e. the different types of starting points. In the third section, the criteria were defined according to which certain types of starting points were evaluated. In the fourth section, the best alternative among those defined in the second section, was selected using the ADAM method. The decision was made for a real-life trading company from Belgrade, based on the defined criteria. At the end, concluding considerations and directions for future research are given.

## 2. STARTING POINT OF E-ORDER DELIVERY

The starting point of order delivery represents the point where the inventory is located [11], in which the process of customer's order fulfillment is activated [5]. It is one of the most important criteria by which delivery models in e-commerce are classified [13]. The preparation of the order for delivery can be performed by the retailer, the retailer's supplier, or the manufacturer [3]. The starting points of delivery of online orders can be the following locations [13]. ***An omnichannel distribution center*** ($A_1$) is most often created by adapting a distribution center for the supply of retail stores so that it can be used for the delivery of online orders. That is why this concept is most often used by traditional retailer, who subsequently introduced e-commerce into their business. ***A dedicated distribution center*** ($A_2$) is a distribution center that is exclusively dedicated to e-commerce operations. It is most commonly used by e-commerce-only companies, but sometimes also by multi-channel companies. ***The storage area of the retail store*** ($A_3$) can also be used as a starting point of delivery with possible remodeling and furnishing. For this purpose, temporary storage facilities originally intended for keeping stocks for sales shelves replenishment, are most often used. In addition to the warehouse, ***the sales area of retail stores*** ($A_4$) can also be used to prepare online orders. In this case, the sales area becomes a kind of order picking zone. This is the oldest model of picking goods for delivery [9] and is mainly applied by companies that operate in both channels and have a dense network of retail stores [7, 14]. Finally, companies can implement a ***hybrid model*** ($A_5$), i.e. combine order preparation in the distribution center and retail stores. Each of the listed alternatives implies advantages and disadvantages for the organizers and users of the delivery service according to certain criteria that will be described below.

## 3. CRITERIA FOR EVALUATION OF STARTING POINTS OF DELIVERY

There are numerous factors that influence decisions about the configuration of the logistics network and the supply chain, including the choice of the starting point of order delivery, as well as the criteria for evaluating certain configurations. Criteria can be [2]: logistics performance (level of delivery service, delivery time), costs (costs of production, transport, inventory management), environmental criteria, etc. Below is an overview and description of the criteria by which certain types of starting points will be evaluated in this paper.

***Investment costs*** ($C_1$) include the costs of construction, remodeling, acquisition and/or lease of logistics capacities and resources, which will enable the start of operations. These costs include the costs of building, remodeling or equipping a logistics, distribution center, warehouse or sales space of retail stores, vehicle procurement, etc. ***Operating costs*** ($C_2$) represent the costs of planning, organizing and implementing logistics operations, including the costs of transport, handling, inventory, etc. These costs include the costs of manpower, exploitation of the fleet and the handling mechanization, warehouses, etc. ***Scalability*** ($C_3$) is a very important criterion for selecting the starting point, especially in conditions of variable demand, in which online order delivery operations often take place. In fact, when making this decision, it is important to take into account the adaptability of certain alternatives to future growth and changes in demand in the field of storage capacity, flexibility of resource use, potential for expansion, etc. ***Risks*** ($C_4$), i.e. risk management is another criterion that is important, primarily for delivery organizers, but also indirectly for users. Potential risks, such as supply chain disruptions, security concerns and regulatory compliance. as well as appropriate solutions to overcome them (redundancy measures, security protocols, contingency plans, etc.) must also be taken into account when evaluating alternatives and selecting the best one. ***Reliability*** ($C_5$) of the alternative represents the certainty of fulfillment of customer order and expectations, quality inventory management, etc. When evaluating alternatives according to this criterion, factors such as system downtime, order fulfillment accuracy, ability to track goods, etc., should be taken into account. Unlike risk management, which refers to prevention and the ability to react to unusual, aggravating circumstances of the implementation of logistics operations, this criterion refers to the continuous provision of quality service to the user according to his requirements. ***Flexibility*** ($C_6$) refers to the ability of each alternative to adapt to changing market conditions, customer preferences, new technologies, etc. Unlike the criterion of scalability, which predominantly refers to the ability to respond to quantitative changes, for this criterion, qualitative changes are more important. When evaluating alternatives according to this criterion, the ability to handle different types of products, integration with other systems, etc. should be taken into account. ***Delivery time*** ($C_7$) represents one of the most important indicators of the quality of the delivery service to the user. It depends on the proximity of customers, characteristics of the logistics network, order processing time, etc. Along with the previous parameter, the most directly related to the service level is the ***customer experience*** criterion ($C_8$). It is important to evaluate how each alternative affects the overall customer experience, taking into account convenience, accuracy, customization options, etc. In light of numerous current economic, social and especially environmental challenges of global scale and importance, consideration of ***sustainability*** criteria ($C_9$) is indispensable. Therefore, it is necessary to determine the impact of each alternative on the environment. energy consumption, carbon emissions, waste generation, economic and social parameters, use of sustainable practices, etc. The above criteria should provide a comprehensive evaluation of each alternative for the starting point.

## 4. SELECTING THE STARTING POINT OF DELIVERY

A retail chain that sells consumer goods in the territory of Serbia introduced e-commerce and home delivery services in the Belgrade area a few years ago. Currently, the starting points of delivery are retail stores, with one of them having a dominant role in terms of the volume of prepared orders. Due to the accelerated increase in demand and the desire to increase the quality of service, the company is considering the selection of other alternatives (delivery from the existing distribution center for supplying retail stores, introduction of a dedicated distribution center, hybrid model). In order to select the best of all the alternatives defined in section 2, they will be evaluated on the example of the given company in relation to the criteria defined in section 3. Also, the weights of the criteria will be defined, according to their importance. Then, by applying the ADAM multi-criteria decision-making method, defined and explained in the paper [10], the alternatives will be ranked and the best one selected.

Each criterion was compared with all the other criteria and during the comparison it was assigned a score of 0, 0.5 or 1, depending on whether it is less, equally or more significant in relation to another criterion. These ratings were summed up for each criterion, and then the sums were normalized and in this way the weights of the criteria shown in Table 1 ($w_j$, $j = 1, \dots, 9$) were obtained. Investment and operating costs have the greatest importance, while sustainability has the least importance. Table 1 also gives the evaluations of the alternatives ($A_i$, $i = 1, \dots, 5$) according to the criteria ($C_j$, $j = 1, \dots, 9$), which are discussed below. Ratings range between [1, 5], with 5 representing the most favorable rating (e.g. very low investment costs, very short delivery time, high reliability, etc.) and 1 the least favorable rating (e.g. very high operating costs, very low sustainability etc.). In other words, all criteria are defined as maximizing.

In the case of using the existing distribution center that serves to supply retail stores, there are investment costs of remodeling one part of it for the needs of e-commerce. Given that there are no conditions for significant changes in the company's existing center, interventions are minimal and investments are low. On the other hand, the performing of e-commerce logistics operations in such conditions is complex, so the operating costs are high. For the reasons mentioned, the scalability of this alternative is also low. The application of an omnichannel center brings the benefits of risk pooling [7], so the evaluation of this alternative from the aspect of risk is favorable. The reliability and flexibility of this alternative are satisfactory. Considering that the centre is not located or designed according to the needs of preparation and delivery of online orders, the delivery time is very long.

The costs of establishing a dedicated distribution center are very high, but in this case the operating costs are medium, bearing in mind that the arrangement of the center and the location would be defined in accordance with the requirements of e-commerce in the observed area. From the aspect of scalability, this alternative is significantly more favorable than the previous one, because the center would be designed taking into account almost certain changes in the volume of demand. From the risk aspect, this alternative has a satisfactory rating, reliability and flexibility are high, and the customer experience is better than in the case of the previous alternative. The delivery time is medium, bearing in mind that one center would have to cover the entire service area. From the aspect of sustainability, this alternative is somewhat less favorable than the previous one, bearing in mind that during the construction of a new center it is necessary to occupy space, create a hub that would generate negative environmental and social effects (noise, vibrations, exhaust gases, etc.).

**Table 1:** Evaluation of alternatives by criteria, weight of criteria and obtained solution

| | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | $C_4$ | $C_5$ | $C_6$ | $C_7$ | $C_8$ | $C_9$ | value | rank |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | 4 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 1 | 3 | 3 | 0,0231 | 4 |
| $A_2$ | 1 | 3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 | 0,0365 | 1 |
| $A_3$ | 4 | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 0,0281 | 3 |
| $A_4$ | 5 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 3 | 0,0219 | 5 |
| $A_5$ | 1 | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 0,0342 | 2 |
| $w_j$ | 0,228 | 0,228 | 0,088 | 0,053 | 0,140 | 0,035 | 0,158 | 0,053 | 0,018 | | |

The preparation of orders in the warehouse space of retail stores does not require high investments, except for the costs of remodeling the existing space. Operating costs are somewhat lower than in the case of an omnichannel center, taking into account the branching of the network of retail stores and lower transportation costs. Due to the limited size and the impossibility of expanding the storage space of retail stores, scalability is very low and flexibility is low. Bearing in mind that the same goods are intended for both sales channels, the risks are higher and the reliability somewhat lower than in the case of an omnichannel center, but according to other criteria, the alternative is rated as satisfactory.

Apart from the warehouse, ordering of goods for home delivery can be done in the sales part of the store. This concept does not require higher investment costs. However, order preparation is somewhat difficult due to the presence of customers, which is why operating costs are high. Due to the fact that the same space and inventory is used for online and offline sales, scalability, flexibility and reliability are limited, and the risks are high. The experience of online customers can be degraded by a poor quality order packing process, but also the experience of offline customers can be impaired by the activities of workers who prepare online orders. The delivery time is usually short, because the network of retail stores is very extensive.

The hybrid model considered by the company involves the combination of using a dedicated distribution center and the sales part of retail stores for the preparation of online orders, which should take advantage of both concepts. Given that this alternative also implies the opening of a new distribution center, it requires large costs and is not particularly favorable from the aspect of sustainability. Given that there is a possibility of optimization in the selection of the starting point (dedicated center or one of the retail stores depending on the distance from the customer), it is possible to reduce the transport costs, but considering that the costs of order preparation in the sales area of store, the operating costs for this variant are rated as medium. Due to the possibility of selecting different starting points in different circumstances, the ratings of this alternative in terms of risk, reliability, flexibility and delivery time are favorable or very favorable. The possibility of expanding the capacity of the dedicated center also contributes to the scalability of this alternative. The user experience may be somewhat compromised in the case where the starting point is the sales area of retail stores.

Using the ADAM software, downloaded from the website [6], alternative $A_2$, a dedicated distribution center was selected as the optimal solution (Table 1). Given that retail stores are the most suitable solution in conditions of lower demand and dedicated centers in conditions of higher demand [13], the obtained solution is also justified in the context of the described market changes that the company is facing. Moreover, it was confirmed to the authors by the employees of the company that it is most certain that this particular solution will soon be implemented in practice.

## 5. CONCLUSION

In the context of the development of online, multi-channel and omni-channel sales and the increasing expectations and demands of users in the field of goods delivery, the issue of selecting the starting point (where the order is prepared) is very important. This paper defines a model based on multi-criteria decision-making that determines the optimal variant of the delivery starting point, which was applied on the example of a trading company from Belgrade. For the analyzed company with an extensive network of retail stores, a wide range of goods, a rapidly growing online demand, etc. the optimal solution is a dedicated distribution center. However, it is important to note that the defined model does not provide solutions that indicate the universally optimal type of starting point of e-order delivery, but that this decision differs from case to case.

The focus of future research may be the expansion, modification or definition of a new model (e.g. based on fuzzy systems), which would determine the type of starting point, and which would also include other significant factors for making this decision, which are described in the paper, but are not included in the defined model of multi-criteria decision-making (type of goods, characteristics of distribution and sales channels, volume of demand, service level). Also, the subject of future research can be continuous or discrete problems of selecting location of the strayting point of delivery of online orders.

## REFERENCES

[1] Beck, N. & Rygl, D. (2015). Categorization of multiple channel retailing in multi-, cross-, and omni-channel retailing for retailers and retailing. Journal of Retailing and Consumer Services, 27, 170-178.

[2] Cirullies, J., Klingebiel, K., Scavarda, L. F., & de Janeiro, C. D. R. (2011). Integration Of Ecological Criteria Into The Dynamic Assessment Of Order Penetration Points In Logistics Networks. Proceedings 25th European Conference on Modelling and Simulation (ECMS), Krakow, Poland, 608-615.

[3] De Koster, M. B. M. (2002). The logistics behind the enter click, In A. Klose, & L.N. Van Wassenhove, (Eds.), Quantitative Approaches to Distribution Logistics and Supply Chain Management (131–148). Berlin: Springer.

[4] De Koster, R. B. M. (2003). Distribution strategies for online retailers. IEEE Transactions on Engineering Management, 50, 448–457.

[5] Fernie, J., & McKinnon, A.C. (2009). The development of e-tail logistics, In J. Fernie,, L. Sparks, (Eds.), Logistics and retail management: emerging issues and new challenges in the retail supply chain, 3rd ed. (207-232), Kogan Page

[6] https://adam-mcdm.com/

[7] Hübner, A., Wollenburg, J., & Holzapfel, A. (2016). Retail logistics in the transition from multi-channel to omni-channel. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 46, 562–583.

[8] Janjevic, M., & Winkenbach, M. (2020). Characterizing urban last-mile distribution strategies in mature and emerging e-commerce markets. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 133, 164-196.

[9] Kämäräinen, V., & Punakivi, M. (2002). Developing Cost-effective Operations for the e-Grocery Supply Chain, International Journal of Logistics Research and Applications, 5, 285–298.

[10] Krstić, M., Agnusdei, G. P., Tadić, S., Kovač, M., & Miglietta, P. P. (2023). A Novel Axial-Distance-Based Aggregated Measurement (ADAM) Method for the Evaluation of Agri-Food Circular-Economy-Based Business Models. Mathematics, 11, 1334.

[11] Lim, S. F. W. T., Jin, X., & Srai, J. S. (2018). Consumer-driven e-commerce. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 48, 308–332.

[12] Tadić, S., Krstić, M., Roso, V., & Brnjac, N. (2020). Dry port terminal location selection by applying the hybrid grey MCDM model. Sustainability, 12, 6983.

[13] Tadić, S., & Veljović, M. (2021). Home delivery: a framework for structuring, International journal for traffic and transport engineering – IJTTE, 11, 30 – 74.

[14] Vanelslander, T., Deketele, L., & Van Hove, D. (2013). Commonly used e-commerce supply chains for fast moving consumer goods: comparison and suggestions for improvement. International Journal of Logistics Research and Applications, 16, 243–256.

[15] Verhoef, P.C., Kannan, P.K. & Inman, J.J. (2015). From multi-channel retailing to omni-channel retailing: introduction to the special issue on multi-channel retailing. Journal of Retailing, 91, 174-181.

[16] Zečević, S., Tadić, S., & Krstić, M. (2017). Intermodal transport terminal location selection using a novel hybrid MCDM model. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 25, 853-876.

# МАТЕМАТИЧКО ПРОГРАМИРАЊЕ
# MATEMATICAL PROGRAMMING

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ
50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ENHANCING DECISION-MAKING IN NIGERIAN SOCIOECONOMIC DEVELOPMENT THROUGH MATHEMATICAL PROGRAMMING

DANIEL ETHELBERT ALOZIE[1], JOFFI NDUMBE BONNIE[2]

[1] Mathematical Sciences Department, Osun State University Nigeria, alomi1988@yahoo.com
[2] Mathematical Sciences Department, Osun State University Nigeria, kuka2001cm@gmail.com

---

***Abstract:*** *This paper explores the application of mathematical programming techniques in enhancing decision-making for socioeconomic development in Nigeria. It highlights the challenges faced by the country and the potential of mathematical programming in addressing these challenges. The paper discusses various mathematical programming models and their applications in different sectors, such as infrastructure development, resource allocation, and policy formulation. Furthermore, it examines the benefits, limitations, and implementation considerations of mathematical programming in the Nigerian context. Through effective utilization of mathematical programming, decision-makers can make informed and optimized choices that can lead to sustainable socioeconomic development in Nigeria.*

***Keywords:*** *Decision-Making, Mathematical Programming, Nigeria, Optimization, Resource Allocation, Socioeconomic Development.*

---

## I. INTRODUCTION

Nigeria, a country known for its vibrant culture, diverse population, and rich natural resources, faces numerous challenges in achieving sustainable socioeconomic development. Efficient decision-making is crucial in addressing these challenges and promoting sustainable development. Mathematical programming techniques offer a systematic and quantitative approach to decision-making, enabling decision-makers to optimize resource allocation, identify the most effective policies, and support evidence-based decision-making. This abstract highlights the relevance and potential applications of mathematical programming in addressing key socio-economic issues in Nigeria, aiming to contribute to the overall well-being and progress of the nation.

The objectives of this paper are as follows:

- To explore the challenges faced by Nigeria in socioeconomic development.
- To examine the role of mathematical programming in enhancing decision-making processes.
- To discuss various mathematical programming models applicable to Nigerian socioeconomic development.
- To analyze the benefits, limitations, and implementation considerations of mathematical programming in the Nigerian context.
- To propose recommendations for the effective integration of mathematical programming in decision-making processes in Nigeria.

## 2. CHALLENGES IN NIGERIAN SOCIOECONOMIC DEVELOPMENT

1. Resource Allocation Effective resource allocation is crucial for sustainable development in Nigeria. Limited resources, competing demands, and inefficient allocation processes often lead to suboptimal utilization of resources, hindering socioeconomic progress.
2. Infrastructure Development Inadequate infrastructure, particularly in transportation, energy, and water sectors, poses a significant challenge for Nigerian socioeconomic development. The lack of proper infrastructure hampers economic growth, impedes access to basic services, and limits overall development potential.

3. Policy Formulation formulating appropriate policies to address socioeconomic challenges requires a comprehensive understanding of complex interdependencies and trade-offs. Ineffective policy formulation can lead to suboptimal outcomes and hinder progress.

## 3. AGRICULTURAL OPTIMIZATION: MAXIMIZING PRODUCTIVITY AND PROFITABILITY

The scope of mathematical programming in Nigeria extends across various sectors, including but not limited to agriculture, energy, transportation, healthcare, and education. By formulating mathematical models, incorporating real-world constraints and objectives, policymakers and stakeholders gain valuable insights into optimal allocation strategies. For instance, in the agricultural sector, mathematical programming can aid in determining the optimal crop allocation, considering factors such as land availability, market demands, and resource constraints, thus maximizing productivity and profitability for farmers.

**Table 1**: Examples of Agricultural Optimization using Mathematical Programming in Nigeria

| Application | Objectives | References |
|---|---|---|
| Crop allocation | Maximize productivity and profitability | [1], [2] |
| Resource optimization | Optimal resource allocation | [3], [4] |
| Market demand analysis | Meeting market demands efficiently | [5], [6] |

## 4. ENERGY PLANNING: OPTIMIZING THE ENERGY MIX FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Furthermore, energy planning is a critical aspect of Nigeria's development agenda. Mathematical programming techniques can support decision-makers in optimizing energy generation, transmission, and distribution, taking into account the intermittent nature of renewable energy sources and the need for reliable power supply. By developing efficient energy models, Nigeria can improve its energy mix, reduce dependency on fossil fuels, and achieve sustainable development goals, while simultaneously addressing climate change concerns.

**Table 2:** Examples of Energy Planning Optimization using Mathematical Programming in Nigeria

| Application | Objectives | References |
|---|---|---|
| Energy generation planning | Optimize generation strategies | [7], [8] |
| Renewable energy integration | Achieve sustainable development goals | [9], [10] |
| Transmission and distribution | Enhance reliability and efficiency | [11], [12] |

## 5. TRANSPORTATION OPTIMIZATION: ENHANCING CONNECTIVITY AND ECONOMIC GROWTH

Transportation infrastructure plays a pivotal role in Nigeria's economic growth. Mathematical programming enables transportation planners to optimize route planning, fleet management, and resource allocation, leading to improved logistics, reduced congestion, and enhanced connectivity within and between cities. This, in turn, stimulates economic activities, accelerates trade, and fosters regional integration.

**Table 3**: Examples of Transportation Optimization using Mathematical Programming in Nigeria

| Application | Objectives | References |
|---|---|---|
| Route optimization | Minimizing travel time and congestion | [13], [14]] |
| Fleet management | Optimal fleet allocation and scheduling | [15], [16] |
| Infrastructure planning | Enhance connectivity and economic growth | [17], [18] |

## 6. HEALTHCARE RESOURCE ALLOCATION: ENSURING EQUITABLE AND EFFICIENT SERVICES

The healthcare system in Nigeria faces challenges such as resource scarcity and equitable service delivery. Mathematical programming provides a framework to allocate limited resources, such as medical supplies, personnel, and infrastructure, in an optimal manner. By considering factors like population distribution, disease prevalence, and accessibility, policymakers can ensure that healthcare services are efficiently distributed, prioritizing underserved areas and vulnerable populations.

Table 4: Examples of Healthcare Resource Allocation using Mathematical Programming in Nigeria

| Application | Objectives | References |
|---|---|---|
| Resource allocation | Optimal allocation of medical resources | [19], [20] |
| Personal scheduling | Efficient distribution of healthcare staff | [21], [22] |
| Infrastructure planning | Equitable access to healthcare services | [23], [24] |

## 7. EDUCATIONAL SYSTEM OPTIMIZATION: PROMOTING EQUITABLE ACCESS TO QUALITY EDUCATION

Education is another crucial area where mathematical programming can drive positive change. By optimizing school allocation, student assignment, and teacher deployment, the educational system can be streamlined to ensure equitable access to quality education for all Nigerian children. Such optimization models can take into account factors such as distance to schools, classroom capacities, and student preferences, ultimately improving educational outcomes and fostering social mobility.

**Table 5:** Examples of Educational System Optimization using Mathematical Programming in Nigeria

| Application | Objectives | References |
|---|---|---|
| School allocation | Optimal school placement and capacity | [25], [26] |
| Student assignment | Equitable distribution of students | [27], [28] |
| Teacher deployment | Optimal teacher assignment and scheduling | [29], [30] |

## 8. APPLICATIONS OF MATHEMATICAL PROGRAMMING IN NIGERIAN SOCIOECONOMIC DEVELOPMENT

8.1. Resource Allocation and Budgeting Mathematical programming can support optimal resource allocation and budgeting decisions. It can help determine the allocation of funds among different sectors, prioritize projects, and optimize the distribution of resources to maximize socioeconomic impact.

8.2. Infrastructure Planning and Development Mathematical programming models can assist in infrastructure planning, including transportation network design, location planning for energy facilities, and optimal utilization of water resources. These models can optimize investment decisions, reduce costs, and improve infrastructure efficiency.

8.3. Policy Optimization and Analysis Mathematical programming techniques can support policy optimization and analysis by evaluating the impact of different policy alternatives, identifying trade-offs, and determining optimal policy parameters. This can facilitate evidence-based policy formulation and enhance decision-making processes.

## 9. BENFITS, LIMITATIONS, AND IMPLEMENTATION CONSIDERATIONS

### 9.1 Benefits of Mathematical Programming

- Systematic and quantitative approach to decision-making
- Optimization of resource allocation and utilization
- Identification of optimal solutions and trade-offs
- Enhanced efficiency and effectiveness of policies and projects
- Support for evidence-based decision-making

### 9.2 Limitations of Mathematical Programming

- Assumptions and simplifications may not fully capture real-world complexities
- Data availability and quality can affect model accuracy
- Implementation challenges, including technical expertise and computational requirements
- Sensitivity to parameter changes and uncertain inputs

### 9.3 Implementation Considerations

- Data collection and validation for accurate modeling
- Stakeholder involvement and collaboration for model development
- Capacity building and training for decision-makers and analysts
- Integration with existing decision-making processes and institutional frameworks

## 10. CONCLUSION

Mathematical programming offers tremendous potential for Nigeria's socioeconomic development. By leveraging this powerful tool, policymakers and stakeholders can make informed decisions, optimize resource allocation, and enhance the efficiency of various sectors. Tailoring mathematical programming models to the Nigerian context can significantly contribute to the country's sustainable development agenda, driving positive change and improving the overall well-being of its citizens.

## REFERENCES:

[1] Adejuyigbe, S. B., et al. (2019). Optimization of student assignment to schools in Nigeria using mixed integer programming. European Journal of Operational Research, 276(2), 555-567.

[2] Adekunle, A. A., & Akinola, A. S. (2019). Optimization of crop allocation using mathematical programming: A case study of selected crops in Nigeria. International Journal of Agricultural Policy and Research, 7(10), 220-231.

[3] Adeyemi, O. S., et al. (2020). Mathematical programming approach for fleet management optimization in Nigeria. International Journal of Scientific & Technology Research, 9(4), 6627-6634.

[4] Adeyemi, R. A., et al. (2021). Optimal infrastructure planning for enhanced connectivity in Nigeria using mathematical programming. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 8(2), 390-403.

[5] Adediran, A. A., et al. (2020). Optimization model for road infrastructure planning in Nigeria. Journal of Infrastructure Development, 12(1), 65-78.

[6] Adebayo, O., et al. (2020). Route optimization model for reducing travel time and congestion in Nigeria. International Journal of Civil Engineering and Technology, 11(8), 289-301.

[7] Adeyemi, O. S., et al. (2018). Optimal allocation of medical resources for healthcare delivery in Nigeria. Alexandria Engineering Journal, 57(4), 3055-3064.

[8] Aderemi, A. O., et al. (2020). Optimization of school allocation for equitable educational access in Nigeria. Cogent Education, 7(1), 1802879.

[9] Adediran, A. A., et al. (2020). Optimal transmission and distribution planning for reliable power supply in Nigeria. Energy Reports, 6, 1423-1432.

[10] Akinyemi, O., et al. (2021). Optimal integration of renewable energy into Nigeria's power grid: A linear programming approach. International Journal of Energy Economics and Policy, 11(3), 120-131.

[11] Akinmoladun, O. O., et al. (2021). Optimization of transport routes using mathematical programming: A case study of Lagos state, Nigeria. International Journal of Transportation Engineering and Technology, 7(1), 18-33.

[12] Akinola, A. S., & Adekunle, A. A. (2019). Optimization of crop allocation using mathematical programming: A case study of selected crops in Nigeria. International Journal of Agricultural Policy and Research, 7(10), 220-231.

[13] Akinyemi, O., et al. (2021). Optimal integration of renewable energy into Nigeria's power grid: A linear programming approach. International Journal of Energy Economics and Policy, 11(3), 120-131.

[14] Ayeni, R., & Olayiwola, K. (2021). Mathematical programming models for optimizing market demand in Nigeria's agriculture. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, 8(4), 833-847.

[15] Ayeni, R., et al. (2019). Optimization of transmission and distribution networks for efficient electricity supply in Nigeria. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 8(5), 3204-3216.

[16] Ayodeji, O. A., et al. (2021). Mathematical programming model for equitable distribution of students in Nigeria. Journal of Applied Mathematics and Computing, 66(1-2), 327-349.

[17] Ayoola, G. B., et al. (2019). Mathematical programming approach for optimal school placement and capacity planning in Nigeria. Journal of Scientific Research and Reports, 23(6), 1-12.

[18] Ayanlade, A., et al. (2020). Optimal transmission and distribution planning for reliable power supply in Nigeria. Energy Reports, 6, 1423-1432.

[19] Obasuyi, D. O., et al. (2018). Optimization of teacher deployment for improved educational outcomes in Nigeria. International Journal of Scientific & Engineering Research, 9(1), 1407-1420.

[20] Ogunleye, G., & Ojo, T. O. (2020). Optimization of agricultural resource allocation for sustainable food production in Nigeria. Journal of Agricultural Extension, 24(2), 59-74.

[21] Ogundele, O. A., et al. (2021). Optimization model for equitable access to healthcare services in Nigeria. Journal of Healthcare Engineering, 2021, 6650382.

[22] Ogbonna, A., & Chukwuneke, J. (2020). Optimization of energy generation planning in Nigeria using mixed-integer linear programming. Journal of Energy Engineering, 146(2), 04020008.

[23] Ojo, T. O., & Ogunleye, G. (2020). Optimization of agricultural resource allocation for sustainable food production in Nigeria. Journal of Agricultural Extension, 24(2), 59-74.

[24] Olatunji, S. O., et al. (2020). Mathematical modeling of optimal land and water resources allocation for sustainable agricultural development in Nigeria. Resources, Conservation and Recycling, 161, 104992.

[25] Olatunji, S. O., et al. (2018). Optimal allocation of medical resources for healthcare delivery in Nigeria. Alexandria Engineering Journal, 57(4), 3055-3064.

[26] Oseni, M. O., et al. (2019). Optimization of renewable energy mix in Nigeria using linear programming. Journal of Energy and Power Engineering, 13(10), 1196-1205.

[27] Oyekanmi, S. G., et al. (2020). Mathematical programming approach for efficient allocation of healthcare resources in Nigeria. Health Systems, 9(2), 151-168.

[28] Oyekanmi, S. G., et al. (2021). Mathematical programming model for healthcare staff scheduling in Nigeria. Journal of Health Informatics in Developing Countries, 15(1), 171-184.

[29] Oladejo, O. J., et al. (2018). Optimization of healthcare personnel scheduling in Nigeria using mathematical programming. International Journal of Mathematics in Operational Research, 12(3), 325-341.

[30] Olawoyin, R., et al. (2020). Optimal resource allocation in Nigeria's agriculture value chain: A linear programming approach. Cogent Food & Agriculture, 6(1), 1772561.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ
50. СИМПОЗИЈУМ О ОПЕРАЦИОНИМ ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# CONTINUOUS-TIME PROGRAMMING PROBLEMS

JELENA VICANOVIĆ[1], ALEKSANDAR JOVIĆ[2]

[1] Department of Mathematical Sciences, Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Karnegijeva 4, Belgrade, Serbia, jvicanovic@tmf.bg.ac.rs
[2] Department of Numerical Mathematics and Optimization, Faculty of Mathematics, University of Belgrade, Studentski trg 16, Belgrade, Serbia, ajovic@matf.bg.ac.rs

---

***Abstract:*** *In this paper, we present the results we reached by dealing with convex continuous-time programming problems posed in* $L_\infty([0,T],\mathbb{R}^n)$. *As a main tool, a new theorem of the alternative in functional spaces is used.*

***Keywords:*** *Continuous-time programming, Optimality conditions, Vector problems*

---

## 1. INTRODUCTION

Continuous-time optimization has gained more popularity in recent years due to its power to address real-world problems. This class of optimization problems, which was introduced by Bellman in 1953 [2], has found significant applications in machine learning, finance and economics but also in many other fields where complex and dynamic systems need to be modeled.

Theorems of the alternative play crucial role in deriving optimality conditions for wide classes of extremal problems. Many authors used Gordan's Transposition Theorem from Zalmai [6] when dealing with problems posed in functional spaces. When Arutyunov, Zhukovskiy and Marinkovic in [1] pointed out that this result is not valid, it meant that many theorems should be reconsidered.

In this manuscript we will go through convex continuous-time programming problems by using new version of theorem of the alternative given in [1]. No differentiability assumption will be imposed.

Let us consider the following maximization problem

---

$$\begin{aligned} &\text{maximize} && J(x(\cdot)) = \int_0^T f(t,x(t))dt \\ &\text{subject to} && g(t,x(t)) \geq 0 \quad \text{a.e. in } [0,T], \qquad\qquad (P) \\ &&& x(\cdot) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^n). \end{aligned}$$

where $f:[0,T]\times\mathbb{R}^n \to \mathbf{R}$ and $g:[0,T]\times\mathbb{R}^n \to \mathbf{R}^m$ are given functions.

## 2. NEW THEOREM OF THE ALTERNATIVE

For applying the new theorem of the alternative by Arutyunov et al [1], we need a certain regularity condition to be satisfied.

- Let $(E,\|\cdot\|)$ be a Banach space with given functions $f_i:[0,T]\times E \to \mathbf{R}$ , *i* = 1,..., *k* and X ⊂ E. We assume that the following conditions are valid:

(A1) *X* is closed and convex;

(A2) Functions fi (t , ·) are convex and continuous on X, and X ⊂ int(dom(fi(t , · ))) for a.e. t ∈[0,1], i = 1,..., k;

(A3) Functions fi (·, x) are Lebesgue measurable for all x ∈ X, i = 1,..., k;

(A4) For each K ≥ 0 there exists M = M(K) ≥ 0 such that for a.e. t ∈ [0,1] and for all i=1,...,k
(x ∈ X ∧|x| ≤ K) ⇒ | fi (t, x)| ≤ M.

Let $I(t, x)$ be the set of active indices of the system

$$f_i(t,x) \leqslant 0, i \in I_1, \qquad f_i(t,x) < 0, i \in I_2, x \in X, \tag{1}$$

where $I_1 \sqcup I_2 = \{1,\dots,k\}$, i.e. $I(t,x) := \left\{i : f_i(t,x) = \max_{j=1,\dots,k} f_j(t,x)\right\}, t \in [0,T], x \in X.$

A solution of system (1) is a function $x(\cdot) \in L_\infty([0,1], X)$ such that for a.e. t ∈ [0,1] the following holds: $f_i(t, x(t)) \leq 0, i \in I_1, f_i(t, x(t)) < 0, i \in I_2, \quad x(t) \in X.$

For a function $f : [0,T] \times E \to \bar{\mathbf{R}}$ and a point t ∈ [0,T] such that f (t , ·) is convex, we denote by $\partial_x f(t,x)$ the subdifferential of f (t , ·) at a point x ∈ E. For a vector x ∈ E and a linear bounded functional φ ∈ $E^*$, we denote the value of φ at x by $\langle \varphi, x \rangle$.

I **Definition 1.** We say that (1) is regular, if there exist a function $\underline{x}(\cdot) \in L_\infty([0,1], X)$, real numbers R ≥ 0 and α > 0 such that for a.e. t ∈ [0,1] and for all x ∈ X with $\|x - \underline{x}(t)\|$ ≥ R, there exists e = e(t, x) ∈ $-T_X(x)$, ‖e‖ = 1, which satisfies

$$\langle x^*, e \rangle \geq \alpha, \qquad \forall x^* \in \partial_x f_i(t,x), \qquad i \in I(t,x),$$

where $T_X(x)$ denotes a tangent cone to the set *X* at the point *x*.

I **Theorem 1.** *(Theorem of the Alternative [1]) Assume that the Banach space E is separable,* the system (1) is regular, and for a.e. t ∈ [0,1] there exists a vector x = x(t) ∈ X such that $f_i(t, x(t)) < 0$ for each i ∈ $I_1$. Then, one and only one of the following assertions is valid.

*(i) There exists a solution χ(·) for system (1);*

(ii) There exists a nonzero function $\varphi(\cdot) = (\varphi_1(\cdot), \dots, \varphi_k(\cdot)) \in L_\infty([0,1], \mathbb{R}^k_+)$ such that $\varphi_i(t) \not\equiv 0$ for some i ∈ $I_2$ and

$$\sum_{i=1}^{k} f_i(t,x)\varphi_i(t) \geq 0 \qquad \text{a.e. in } [0,1], \ \forall x \in X.$$

Under a simple argument this theorem stays valid by changing interval [0,1] to interval [0,*T*] .

## 3. CONVEX CONTINUOUS-TIME PROGRAMMING PROBLEMS

In order to discuss the necessary optimality conditions for (P), we assume that for a.e. t ∈ [0,T] functions *f* (*t* , ·) and *g* (*t* , ·) are convex on $\mathbb{R}^n$ and for all $x \in \mathbf{R}^n$ functions *f* (·, *x*) and *g*(·, *x*) are Lebesgue measurable. Also let us assume that for each *M* ≥ 0, *N* ≥ 0 there exist, respectively,

L = L(M), K = K(N) such that for a.e. t ∈ [0,T]

$(x \in \mathbf{R}^n \ \wedge \ \|x\| \leq M) \Rightarrow |f(t,x)| \leq L,$

$(x \in \mathbf{R}^n \ \wedge \ \|x\| \leq N) \Rightarrow |g_i(t,x)| \leq K, i \in I = \{1,\dots,m\}.$

Let $F$ denote the set of all feasible solutions of (P) (assumed to be nonempty), i.e.,

$$F = \{x(\cdot) \in L_\infty([0,T], \mathbb{R}^n) : \ g(t, x(t)) \geq 0 \ \ a.e. in \ [0,T]\}.$$

I **Definition 2.** We say that $\hat{x}(\cdot)$ ∈ F is a global maximizer of (P) if

$J(x(\cdot)) \leqslant J(\hat{x}(\cdot))$, ∀x(·) ∈ F.

I **Lemma 2.** *If there exists a global maximizer* $\hat{x}(\cdot)$ *for (P), then the following system*

$$\phi_0(t,x) := -\int_0^T \langle \partial_x f(t,\hat{x}(t)), x-\hat{x}(t)\rangle dt < 0,$$
$$\phi_i(t,x) := -g_i(t,\hat{x}(t)) - \langle \partial_x g_i(t,\hat{x}(t)), x-\hat{x}(t)\rangle \leq 0, i \in I, \qquad \text{(S)}$$
$$x \in \mathbf{R}^n,$$

doesn’t have a solution for a.e. t ∈ [0,T].

I **Theorem 3.** *[4] Let* $\hat{x}(\cdot)$ *be a global maximizer for (P). Assume that system (S) is regular and* there exists $z:[0,T] \to \mathbb{R}^n$ such that g(t,z(t)) > 0 for almost every t ∈ [0,T]. Then, there exists $\hat{u}(\cdot) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^m)$ *satisfying the following conditions:*

*3.1.* $\hat{u}(t) \geq 0$ a.e. in $[0,T]$ ,

*3.2.* $\hat{u}'(t)g\left(t,\hat{x}(t)\right) = 0$ a.e. in $[0,T]$ ,

*3.3.* $f(t,x(t)) + \hat{u}'(t)g\left(t,x(t)\right) \geq f\left(t,\hat{x}(t)\right) + \hat{u}'(t)g\left(t,\hat{x}(t)\right), \forall x(\cdot) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^n),$ a.e. in $[0,T]$ .

Separating linear constraint functions from nonlinear, we have a special case of problem (P):

$$\text{maximize} \quad J(x(\cdot)) = \int_0^T (A_0(t)x(t) + b_0(t))dt$$
$$\text{subject to} \quad g(t,x(t)) \geq 0 \quad \text{a.e. in } [0,T], \qquad \text{(P')}$$
$$A_1(t)x(t) + b_1(t) \geq 0 \quad \text{a.e. in } [0,T],$$
$$x(\cdot) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^n),$$

where $A_k(t)$ are $l \times n$ matrices, $b_k(t) \in \mathbf{R}^l, k \in \{0,1\}$ and $g:[0,T] \times \mathbb{R}^n \to \mathbf{R}^m$ are given non-affine functions. We can now obtain new optimality conditions, where at least one of the multipliers that correspond to non-affine constraint functions is nonzero. In addition to all the previous assumptions for function *g*(*t, x*), we will consider the following hypotheses:

(i) $A_0(t) \neq 0 \ a.e.in \ [0,T];$

(ii) System (S’):

$$\phi_0(t,x) := -\int_0^T A_0(t)(x-\hat{x}(t))dt < 0,$$
$$\phi_i(t,x) := -g_i(t,\hat{x}(t)) - \langle \partial_x g_i(t,\hat{x}(t)), x-\hat{x}(t)\rangle \leq 0 \quad \text{a.e. in } [0,T], \quad i \in I_1 = \{1,\dots,m\},$$
$$\phi_j(t,x) := -A_{1_j}(t)x(t) - b_{1_j}(t) \leq 0 \quad \text{a.e. in } [0,T], \quad j \in I_2 = \{1,\dots,l\},$$
$$x \in \mathbf{R}^n,$$

is regular with $I = I_1 \cup I_2$, where $\hat{x}(\cdot)$ is a global maximizer for (P’) ;

(iii) There exists at least one solution $x(\cdot) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^n)$ to the equation $A_1(t)x(t) + b_1(t) = 0,$ a.e. in $[0,T]$ which isn’t a feasible solution for problem (P’).

I **Theorem 4.** *Let* $\hat{x}(\cdot)$ *be a global maximizer for (P’). Assume that hypotheses (i), (ii) and (iii)* hold and there exists some $z:[0,T] \to \mathbb{R}^n$ such that for a.e. t ∈ [0,T] g(t,z(t)) > 0 and $A_1(t)x(t) + b_1(t) > 0$ *. Then, there exist* $\hat{u}(\cdot) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^m)$ *and* $\hat{v}(\cdot) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^l)$ *satisfying the following conditions:*

*4.1.* $\hat{u}(t) \geq 0, \hat{v}(t) \geq 0 \ a.e.in \ [0,T] \ and \ \hat{u}(t) \not\equiv 0 \ on \ [0,T].$

*4.2.* $\hat{u}'(t)g\left(t,\hat{x}(t)\right) = 0 \ and \ \hat{v}'(t)(A_1(t)\hat{x}(t) + b_1(t)) = 0 \ a.e.in \ [0,T].$

*4.3.*. $A_0(t)x(t) + \hat{u}'(t)g(t,x(t)) + \hat{v}'(t)A_1(t)x(t) \geq A_0(t)\hat{x}(t) + \hat{u}'(t)g\left(t,\hat{x}(t)\right) + \hat{v}'(t)A_1(t)\hat{x}(t), \forall x(\cdot) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^n), a.e.in[0,T]$

By adding an integral constraint to problem (*P*), we get an isoperimetric problem considered in [5] :

maximize $J(x(\cdot)) = \int_0^T f(t,x(t))dt$

subject to $\int_0^T h_i(t,x(t))dt \geq 0, \quad i \in I = \{1,\dots,m\},$ (IP)

$g_j(t,x(t)) \geq 0, \quad j \in J = \{1,\dots,k\}$ a.e. in [0,T],

$x(\cdot) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^n).$

Following the same approach and under the same assumptions for given functions $f:[0,T]\times\mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$ , $h_i:[0,T]\times\mathbb{R}^n \to \mathbb{R},$ i ∈ I and $g_j:[0,T]\times\mathbb{R}^n \to \mathbf{R}$ , j ∈ J, we obtain optimality conditions for the posed problem.

I Theorem 5. Let $\hat{x}(\cdot)$ be a global maximizer for (IP). Assume that there exists $x = x(t) \in \mathbf{R}^n$ such that $h_i(t,x(t)) > 0,$ i ∈ I and $g_j(t,x(t)) > 0,$ j ∈ J a.e. in [0,T] and system

$$\phi_0(t,x) := -\int_0^T \langle \partial_x f(t,\hat{x}(t)), x - \hat{x}(t)\rangle dt < 0,$$

$$\phi_i(t,x) := -\int_0^T \langle \partial_x h_i(t,\hat{x}(t)), x - \hat{x}(t)\rangle dt \leq 0, i \in I$$

$$\phi_j(t,x) := -g_j(t,\hat{x}(t)) - \langle \partial_x g_j(t,\hat{x}(t)), x - \hat{x}(t)\rangle \leq 0, j \in J, \quad \text{a.e. in } [0,T],$$

$$x \in \mathbf{R}^n,$$

*is regular. Then, there exist* $\hat{u} \in \mathbf{R}^m$ *and* $\hat{v}(t) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^k)$ *satisfying the following conditions:*

*5.1.* $\hat{u} \geq 0, \hat{v}(t) \geq 0 \;\; a.e. in\; [0,T],$

*5.2.* $\hat{v}_j(t)g_j(t,\hat{x}(t)) = 0, j \in J \;\; a.e. in\; [0,T],$

*5.3.* $f(t,x(t)) + \sum_{i=1}^m \hat{u}_i h_i(t,x(t)) + \sum_{j=1}^k \hat{v}_j(t)g_j(t,x(t)) \geq f(t,\hat{x}(t)) + \sum_{i=1}^m \hat{u}_i h_i(t,\hat{x}(t)) + \sum_{j=1}^k \hat{v}_j(t)g_j(t,\hat{x}(t)), \quad \forall x(\cdot) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^n), \quad a.e. in\; [0,T]$

.

## 4. VECTOR OPTIMIZATION PROBLEMS

In this section we deal with the following vector continuous-time problem:

minimize $F(x(\cdot)) = \int_0^T f(t,x(t))dt$

subject to $g(t,x(t)) \leqslant 0 \;\; a.e. in\; [0,T],$ (VCTP)

$x(\cdot) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^n),$

where $f:[0,T]\times\mathbb{R}^n \to \mathbf{R}$ and $g:[0,T]\times\mathbb{R}^n \to \mathbf{R}^m$ are given functions. Let

$$F_j(x(\cdot)) = \int_0^T f_j(t,x(t))dt, x(\cdot) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^n), j \in J = \{1,\dots,k\}.$$

where $f_j(t,x(t))$ stands for *j*-th component of $f(t,x(t)) \in \mathbf{R}^k$ and all integrals are given in the Lebesgue sense.

I **Definition 3.** We say that feasible solution $\hat{x}(\cdot)$ is an efficient solution of (VCTP) if there is no other feasible $x(\cdot)$ for (VCTP) such that

$$F_j(x(\cdot)) \leqslant F_j(\hat{x}(\cdot)), \forall j \in J,$$

where at least one inequality is strict.

We establish new necessary conditions for (VCTP) where at least one multiplier that corresponds to the cost functions is nonzero.

I **Theorem 6.** *[3] Let* $\hat{x}(\cdot)$ *be an efficient solution of (VCTP). Assume that there exists* $x = x(t) \in \mathbf{R}^n$ *such that* $g(t, x(t)) < 0$ *a.e. in* $[0,T]$ *and system*

$$\begin{aligned}&\phi_j(t,x) := f_j(t,x) - f_j(t,\hat{x}(t)) < 0, j \in J,\\&\phi_i(t,x) := g_i(t,x) \leq 0, i \in I = \{1,\dots,m\},\\&x \in \mathbf{R}^n,\end{aligned} \tag{S1}$$

*corresponding to (VCTP) is regular. Then, there exist* $(\hat{\varphi}(\cdot),\hat{u}(\cdot)) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^k \times \mathbb{R}^m)$ *such that following conditions hold:*

*6.1.* $\hat{\varphi}(t) \not\equiv 0,$

*6.2.* $\hat{\varphi}(t) \geq 0, \hat{u}(t) \geq 0 \;\; a.e. in \;\; [0,T].$

*6.3.* $\hat{u}'(t)g\left(t,\hat{x}(t)\right) = 0 \;\; a.e. in \;\; [0,T].$

*6.4.* $\hat{\varphi}'(t)f\left(t,x(t)\right) + \hat{u}'(t)g(t,x(t)) \geq \hat{\varphi}'(t)f\left(t,\hat{x}(t)\right) + \hat{u}'(t)g(t,\hat{x}(t)),$

$\forall x(\cdot) \in L_\infty([0,T],\mathbb{R}^n), a.e. in \; [0,T].$

Similar to (P’) , by separating linear from nonlinear cost functions and constraint functions, new optimality criteria can be proved, where at least multiplier that corresponds to the nonlinear cost functions and nonlinear constraint functions is nonzero.

## 4. CONCLUSION

This manuscript is devoted to deriving optimality criteria for nonsmooth scalar and vector continuous-time programming problems. Necessary conditions have been obtained under convexity assumptions. For our future work it would be interesting to consider isoperimetric vector problem. Results presented in this paper could also be used to develop duality theory.

**Acknowledgements.** This research was supported by the Science Fund of the Republic of Serbia, Grant No. 7744592, Integrability and Extremal Problems in Mechanics, Geometry and Combinatorics-MEGIC.

## REFERENCES

[**1**] Arutyunov,A.V., Zhukovskiy,S.E., Marinkovic,B. (2019). Theorems of the Alternative for Systems of Convex Inequalities, Set-Valued and Variational Analysis 27.1: 51-70.

[**2**] Bellman, R. (1953). Bottleneck problems and dynamic programming, Proc.Nat.Acad.Sci. U.S.A. 39, 947-951.

[**3**] Jović, A., Marinković, B. (2022). New optimality criteria for convex continuous-time problems of vector optimiza tion, Optimization, 71(15), 4555-4570.

[**4**] Vicanović, J. , Marinković, B. (2023). Necessary Optimality Conditions for Convex Continuous-Time Optimization Problems, Journal of Convex Analysis, 30(1), 5-16.

[**5**] Vicanović, J. (2022)., Optimality conditions for isoperimetric continuous-time optimization problems, Yugoslav Journal of Operations Research, 33(2), 249–258

[**6**] Zalmai, G.J. (1985). A continuous time generalization of Gordan’s Transposition Theorem, J.Math.Anal.Appl.110:130-140.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# РЕАКТИВНО ПРОГРАМИРАЊЕ КОРИШЋЕЊЕ RXJAVA БИБЛИОТЕКЕ И ПРИМЕНА У ОПЕРАЦИОНИМ ИСТРАЖИВАЊИМА

# REACTIVE PROGRAMMING USING RXJAVA LIBRARY AND APPLICATION IN OPERATIONS RESEARCH

МИЛИЦА БАЧИЋ[1], СИНИША ВЛАЈИЋ[2]

[1] Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, mb20223704@student.fon.bg.ac.rs
[2] Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, sinisa.vlajic@fon.bg.ac.rs

***Резиме:*** *Овај документ представља научни рад који анализира основне концепте и парадигме реактивног програмирања. Кроз рад биће детаљно анализирани концепти на којима се заснима рад RxJava библлиотеке, као једне од најкоришћенијих библиотека за реактивно програмирање, као и могућности примене ове парадигме у решавању проблема из домена операционих истраживања.*

***Кључне речи:*** *Реактивно програмирање, RxJava, асинхрона комуникација нити, операциона истраживања, Sym-Op-Is 2023.*

***Abstract:*** *This document is a scientific paper that analyzes the basic concepts and paradigms of reactive programming. The paper will analyze in detail the concepts on which the work of the RxJava library is based, as one of the most used libraries for reactive programming, as well as the possibilities of applying this paradigm in solving problems from the field of operations research.*

***Keywords:*** *Reactive programming, RxJava, asynchronous thread communication, operations research, Sym-Op-Is 2023.*

## 1. УВОД

Последњих година, индустрија софтверског инжењерства се суочава са повећаним бројем клијената, а самим тим и са њиховим све већим захтевима. Примарна особина софтвера која постаје значајна крајњим корисницима јесте брз одговор система на захтеве клијената, као и могућност апликација да опслуже што већи број клијената за што краће време. Појавом ових потреба, реактивно програмирање добија све већу употребу у креирању софтверских решења. Услед пораста дистрибуираних система, софтверски системи све чешће морају да комуницирају са одређеним бројем екстерних извора. Пре настанка реактивног програмирања, таква комуникација често је била нескалабилна и доводила је до великог броја блокирајућих механизама. Реактивно програмирање управо се и јавило као концепт који на систематичнији и скалабилнији начин управља обрађивањем асинхроних операција. [5]

Циљ рада је представљање основних концепата и парадигми реактивног програмирања, указивање предности које реактивно програмирање пружа у односну на синхрону комуникацију нити, као и начин на који се у овој парадигми врши управљање асинхроним токовима података у савременим апликацијама. У наредном поглављу биће објашњени теоријски концепти реактивног програмирања и реактивни токови. Треће поглавље анализираће основне парадигме и концепте библиотеке RxJava, једне од најчешће коришћених библиотека за реактивно програмирање у програмском језику Јава. Четврто поглавље посвећено је анализи примене реактивног програмирања у области операционх истраживања, с обзиром да се ова област базира једним делом на обраду података у реалном времену. Као закључак рада биће указано на предности и могућности RxJava библиотеке и асинхроне комуникације и биће дати даљи правци истраживачког рада у овој области.

## 2. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ РЕАКТИВНОГ ПРОГРАМИРАЊА

**Реактивно програмирање** представља парадигму која се заснива на асинхроној комуникацији и чији је главни фокус на управљању реактивним токовима и прослеђивању промена. Реактивним програмима се сматрају сви они програми који својим заинтересованим странама (корисници, компоненте у оквиру програма итд.) прослеђују информације о променама које настају у програму и утичу на податке тог програма. [3]

**<u>Основне парадигме реактивних система</u>**[1] су следеће:

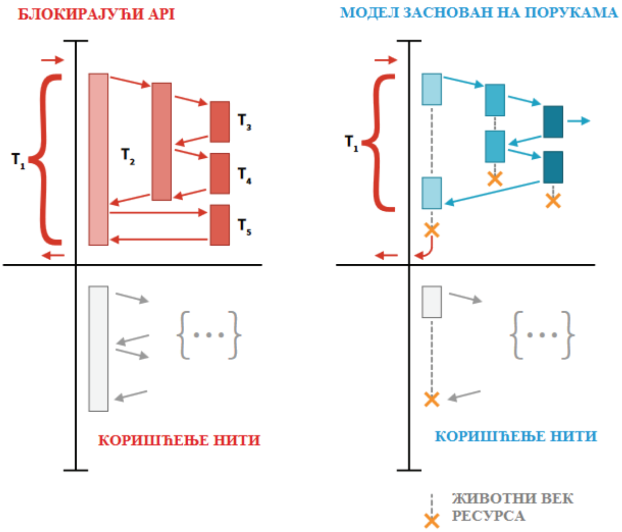
- **Респонзивност** – Одзив система указује на то колико се проблеми брзо могу открити и решити. У модерном добу програмирања, одзив представља императив при развоју софтверских система. Системи који су респонзивни се фокусирају на обезбеђивање брзог и доследног одговора крајњим корисницима. Такође, у таквим системима се поставља и горња граница времена за коју је потребно пружити одговор кориснику.
- **Отпорност** – Основна одлика ове карактеристике јесте то што софтверски систем и приликом грешке која је настала остаје респонзиван. Ово даље имплицира, без обзира о каквом софтверском систему се ради, да дати систем уколико није отпоран престаје да реагује након грешке која се деси. Аутори наводе четири концепта који омогућавају ову карактеристику[1]: **репликација, задржавање, изолација и делегирање**. Грешке у систему се могу десити у било којој компоненти система. Те грешке, које су **задржавају** у оквиру једне компоненте, не би смеле да утичу на рад других компоненти. Због тога је међусобно **изоловање** компоненти један од основних циљева реактивног програмирања, јер се тиме проблеми који се дешавају код једне компоненте не преносе на друге компоненте. Решавање проблема који је упућен комоненти где се десила грешка, се **делегира** другој компоненти која представља њену **репликацију**. Крајњи корисници нису задужени да на било који начин управљају грешкама које настају у оквиру софтверског система.
- **Еластичност** – Ова карактеристика се односи на то да систем остаје респонзиван без обзира на то колико оптерећење тренутно трпи. Систем реагује на улазне захтеве тако што повећава или смањује додељивање ресурсе који ће омогућити сервисирање датих улаза. Да би ово било омогућено, подразумева се да дати системи немају централна уска грла, тако да се компоненте могу делити и реплицирати како би се сервисирао одређени улаз. Еластичност у реактивним системима подржана је коришћењем реактивних и предиктивних алгоритама, који у реалном времену омогућавају задовољавајућу расположивост ресурса. Дати алгоритми врше оптимизацију коришћења ресурса што повећава ефикасност коришћења софтверских и хардверских ресурса.
- **Систем заснован на догађајима** – Код реактивних система поруке се прослеђују асинхроно. На овај начин се међу компонентама успоставља лабаво повезивање („loose coupling“), изолација и транспарентност локације. С обзиром да се као главна карактеристика реактивног система истиче да је заснован на порукама, то подразумева да се и грешке настале у систему делегирају као поруке. Овај начин омогућава управљање оптерећењем и еластичношћу система, као и обрадом повратног притиска, који се дешава код асинхроне комуникације између компоненти система. Мање оптерећење система се постиже тиме што крајњи корисници могу употребљавати одређене ресурсе само док су они активни.

**<u>Главне предности реактивног програмирања</u>** које аутор [3] истиче су следеће:

- Ослобађање од callback механизама – Callback механизам подразумева прослеђивање callback метода приликом одређеног догађаја. Овај механизам у пракси захтева велики број линија програмског кода количину кода.
- Стандардни механизам за обраду грешака

- Једноставније управљање програмским нитима
- Једноставније управљање асинхроним операцијама
- Јединствени API за извршавање свих функционалности
- Повећана функционалност програмског кода
- програмски код се лако тестира и одржава

Као што је наведено, једна од главних карактеристика реактивног програмирања је асинхрона комуникација. Ова карактеристика, за разлику од синхроне комуникације, омогућава рад програма у коме не долази до блокирања. То се постиже тако што, уколико је ресурс који је потребан за извршење заузет, програм неће чекати ослобођење датог ресурса, као што је случај код синхроне комуникације, већ ће наставити са извршавањем осталих захтева све док се наведени ресурс не ослободи. Шематски приказ разлике између ова приступа у комуникацији нити приказан је испод на Слици 1.



Слика 1: Синхрона комуникација нити наспрам асинхроне (прилагођено према [2])

## 2.1. Реактивни токови

Реактивни токови истовремено представљају и спецификацију и протокле за асинхрону комуникацију. Наведени токови подразумевају повратни притисак и моделе засноване на догађајима, који омогућавају да произвођачи софтверског система у потпуности омогуће да систем буде респонзиван без обзира на капацитет корисничких захтева.[6]

API реактивних токова дефинише 4 компоненте[6]:

- ***Publisher*** – креира секвенцу захтева
- ***Subscriber*** – захтева од publisher компоненте субскрипцију и након тога прима захтеве
- ***Subscription*** – прослеђује се subscriber компоненти како би се publisher компоненти дао одговарајући сигнал
- ***Processor*** – истовремено је и publisher и subscriber и служи као медијум у комуникацији

## 3. RXJAVA БИБЛИОТЕКА

**RxJava** је библиотека која се користи за креирање асинхроног кода заснованог на догађајима користећи observable секвенце и операторе фунцкионалног стила. Ова библиотека такође омогућава и параметризовано извршавање помоћу планера (енг. scheduler).[7]

**Технике** помоћу којих библиотека оптимизује перформансе[6] су следеће:

- Коришћење реактивних токова и њихових протокола
- Спајање и дељење оператора
- Прикупљање често захтеваних података и пре него што захтев стигне, како би се у том случају могао смањити број захтева за прикупљањем података

Основни појам који се везује за RxJava библиотеку је **Observable** који може представљати ток догађаја или података. Он може имати двојако понашање: реактивно (када служи за слање података или емитовање догађаја) и интерактивно (када истовремено може служити и за ослушкивање догађаја или прибављање података). Овај концепт може се користити и асинхроно и синхроно. Такође, једна Observable инстанца може представљати од једног до бесконачно догађаја или вредности кроз време.[5]

### 3.1. Observable<T>

Observable компонента може се посматрати као секвенца вредности. Ова компонента заснована је на push механизму, што подразумева да компонента сама доноси одлуку када ће вредности бити емитоване. Дата карактеристика подразумева да, компонента која позива subscribe метод над Observable компонентом не може да контролише када и које вредности ће бити емитоване. Као одговор на ово развио се концепт „повратног притиска“ који донекле омогућава да Subscribe компонента под одређеним околностима има контролу.[5]

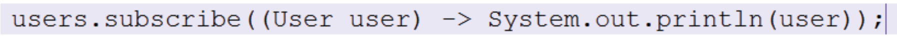
**Observable<User> users** – дати пример инстанце може представљати емитовање података о једном кориснику или о више њих. Ови подаци могу бити емитовани одједном или у одређеном временском интервалу. Програмер који се претплатио на ову компоненту може користити дате податке без потребе да води рачуна о самом начину имплементације логике за добијање ових података која се дешава у позадини.

Из примера приложеног изнад, може се уочити општи облик Observable компоненте: **Observable<T>**

Без обзира што ова компонента прихвата генерички тип T, она може емитовати:

- Вредност генеричког типа T
- Догађај који означава крај емитовања
- Догађај који се односни на насталу грешку

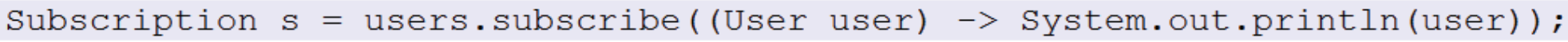
Како би се емитовани подаци о корисницима уопште могли користити у програму, потребно је, као што је наведено, позвати subscribe метод над Observable компонентом, као на Слици 2 испод.



```
users.subscribe((User user) -> System.out.println(user));
```

Слика 2: Пример обраде података добијених из Observer компоненте

### 3.2. Subscription и Subscribe<T>



```
Subscription s = users.subscribe((User user) -> System.out.println(user));
```

Слика 3: Пример креирања Subscription компоненте

На Слици 3 може се уочити надограђен пример са Слике 2. Овај пример заправо указује на то да као повратну вредност subscribe методе добијамо Subsription инстанцу.

**Subsription** представља компненту која нам омогућава да управљамо ослушкивањем података које Observable компонента емитује. Ослушкивање података није подразумеваног трајања и не мора трајати подједнако колико и само постојање Observable компоненте. Због тога је потребно програмирати логику тако да се подаци ослушкују само онда до када је то потребно. Оног тренутка када примање података више није потребно, над инстанцом

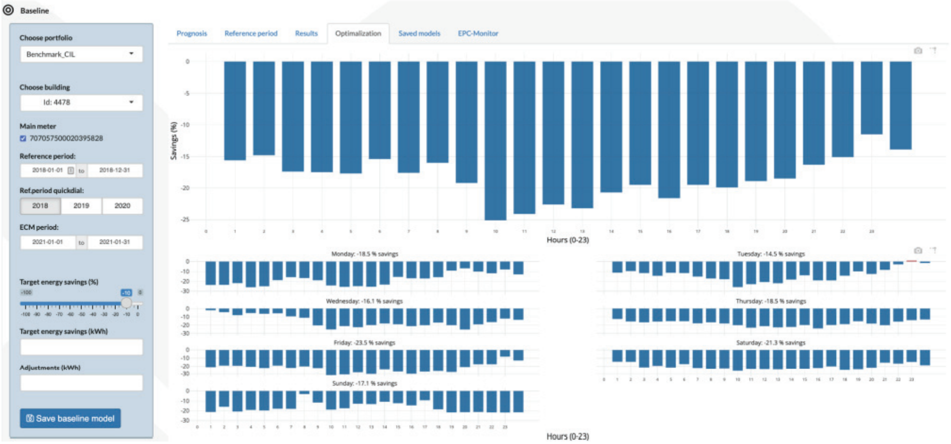
Subscription компоненте позива се метода unsubscribe() која прекида ослушкивање података.[5]

**Subsribe<T>** представља компоненту која истовремено имплементира и Observable<T> и Subscription компоненту. Ова карактеристика омогућава Subsribe<T> компоненти да конзумира информације које Observable<T> компнента емитује, али такође и да контролише до када ће дате информације бити конзумиране. Оног тренутка када информације добијене из Observable<T> компоненте више нису потребне, Subsribe<T> компонента сама позива unsubscribe методу.[5]

## 4. ПРИМЕНА РЕАКТИВНОГ ПРОГРАМИРАЊА У ОПЕРАЦИОНИМ ИСТРАЖИВАЊИМА

Реактивно програмирање као концепт активно се користи у планирању производње код флексибилних производних система, као и у расподели ресурса. Постојећи систем за планирање заснива се на планирању самих операција производње, као и на планирању операција транспорта. Планирање се заснива на фази логици и на креирању алтернативних рута у производњи, уколико је то потребно. За примену одговарајућег плана производње, приликом одлуке користи се већи број параметара као што су раздаљина руте за пренос произведених добара, рокови које добављачи постављају за испоруку делова и време трајања операција обраде.[8]

Поред расподеле ресурса и планирања производње, реактивно програмирање може се користити и ради уштеде енергије и осталих ресурса. Пре реактивног програмирања, заинтересоване стране су зависиле од енергетских аналитичара како би њихове информације о потрошњи и уштеди биле релевантне. Реактивним програмињем сада је омогућена аутоматизација извештаја уштеде енергије. За праћење и креирање извештаја користи се ТВБ (енг. *Tao Vanilla benchmarking model*) модел линеарне регресије. Овај модел, примењен у софтверу, омогућава да корисници апликације могу у реалном времену пратити и генерисати извештаје уштеде енергије, као и предвиђања будућих уштеда на основу садашњих параметара. [9]



Choose portfolio: Benchmark_CIL
Choose building: Id: 4478
Main meter: ☑ 707057500020395828
Reference period: 2018-01-01 to 2018-12-31
Ref.period quickdial: 2018 2019 2020
ECM period: 2021-01-01 to 2021-01-31
Target energy savings (%): -10
Target energy savings (kWh)
Adjustments (kWh)

Слика 4: Изглед система за праћење уштеда енергије [9]

## 5. ЗАКЉУЧАК

Реактивно програмирање коришћењем RxJava библиотеке у модерним апликацијама представља ефикасан приступ за креирање програма заснованих на асинхроним операцијама.

У овом раду објашњени су теоријски концепти реактивног програмирања и реактивни токови, везани за RxJava библиотеку. Реактивно програмирање се може користити за све врсте проблема који постоје код традиционалног синхроног програмирања нити. Као актуелна област истраживања и приступ у програмирању, реактивно програмирање погодан је алат за примену у операционим истраживањима. С обзиром да је једна од главних тема операционих истраживања организовање ресурса у реалном времену, реактивно програмирање представља идеалну парадигму за постизање овог циља.

У нашем даљем истраживачком раду извршићемо компаративну анализу RxJava библиотеке са другим библиотекама које се данас користе у реактивном програмирању (ProjectReactor, Flux,Mono) са објашњењима њихових разлика и ситуацијама у којима је пожељна примена сваке од ових библиотека. Тренутно радимо на имплементацији студијског примера пријаве испита студената коришћењем концепата реактивног програмирања RxJava библиотеке. Као још један правац нашег истраживачког рада биће анализа примене ове библиотеке за праћење различитих токова података (као што су ресурси, уштеда материјала, уштеда енергије, трајање производних операција) у реалном времену, како би се креирали оптимални алгоритми у производним процесима. То ће бити наш наредни софтверски систем развијен помоћу реактивног програмирања коришћењем RxJava библиотеке.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] *The Reactive Manifesto*. (2014, September 16). Retrieved May 28, 2023, from Reactive Manifesto: https://www.reactivemanifesto.org/

[2] Bonér, J., & Klang, V. (2016). *Reactive programming versus Reactive Systems*. Lightbend.

[3] Chakraborty, R. (2017). *Reactive Programming in Kotlin*. Birmingham: Packt Publishing.

[4] Morgillo, I. (2015). *RxJava Essentials*. Birmingham: Packt Publishing.

[5] Nurkiewicz, T. & Christensen, B. (2016). *Reactive Programming with RxJava: Creating Asynchronous, Event-Based Applications*. O'Reilly Media.

[6] Ponge, J., Escoffier, C., Navarro, A., & Le Mouël, F. (2021). *Analysing the Performance and Costs of Reactive*. REBLS '21, 1-10.

[7] Sullivan, A. (2019). *Reactive Programming with Kotlin*. Razeware.

[8] Politano, P.R., Camarg, H.A., Kato, E.R.R. & Morandin O. (2000). *A reactive programming procedure for flexible manufacturing system*. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1-2.

[9] Severinsen, A. & Myrland, O. (2022) *ShinyRBase: Near real-time energy saving models using reactive programming*. Applied Energy, 1-2.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50. СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# A (LOG N)-APPROXIMATION ALGORITHM FOR NODE WEIGHTED PRIZE COLLECTING GROUP STEINER TREE PROBLEM WITH BOUNDED GROUP SIZE[1]

SLOBODAN JELIĆ[1]

[1] University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11000 Belgrade, Serbia, sjelic@grf.bg.ac.rs

---

***Abstract:*** *In this paper, we present a randomized rounding algorithm for node weighted prize collecting group Steiner tree problem where the group size is upper bounded by a constant* $\gamma$ *. First, we propose an* $O(\log n)$ *- approximation algorithm for a node weighted group Steiner tree problem with the bounded group size. To solve prize collecting version of the problem, the subset of groups* $\mathcal{G}'$ *is selected by applying a randomized rounding technique to the solution of the natural cut-based solution of the problem. The expected cost of the group Steiner tree on* $\mathcal{G}'$ *is proved to be at most* $\frac{1}{1-e^{-\frac{1}{2\gamma}}}$ *times optimal.*

***Keywords:*** *node weighted group Stier tree problem, node weighted Steiner tree problem, prize collecting Steiner tree problem, randomized rounding technique.*

---

## 1. INTRODUCTION

We are given an undirected graph $G = (V, E)$, a family $\mathcal{G} = \{G_1, \dots, G_k\}$, of subsets $G_i \subseteq V$, $i \in [k]$ such that $|G_i| \leq \gamma$ for all $i \in [k]$, node weight function $w: V \to \mathbf{R}^+$ and penalty function $\pi: \mathcal{G} \to \mathbf{R}^+$. The objective is to find a subtree of $G$ where

$$\sum_{v\in V(T)} w(v)x_v + \sum_{G_i: V(T)\cap G_i=\emptyset} \pi(G_i) \tag{1}$$

is minimized. This is a generalization of the edge weighted prize collecting group Steiner tree problem with bounded group size introduced by [2]. On the other hand, this problem generalizes the node weighted group Steiner tree problem (NWGST) with bounded group size by setting $\pi(G_i) = \infty$ for all $i \in [k]$. This problem and its special versions have numerous theoretical and practical applications in life sciences, knowledge discovery and operational research.

## 2. PREVIOUS WORK

This problem is a prize-collecting version of the better studied group Steiner tree problem with node weights generalizing both the node weighted Steiner tree problem and the set cover problem. The most studied version of the group Steiner tree problem comes with edge weights [1], and there are also results on inapproximability [4]. For the edge weighted group Steiner tree problem with bounded group size, Slavik et al. [8] gave a $2\gamma$ – approximation algorithm using rounding technique for relaxation of natural cut-based formulation. The prize collecting group Steiner tree

---

[1] This research was supported by the Science Fund of the Republic of Serbia, Green program of cooperation between science and industry, project: ***EO and in-situ based information framework to support generating Carbon Credits in forestry***

problem with bounded group size is considered in the work of [2], where the constant factor approximation algorithm is given. We are not aware of any previous research on the node weighted prize collecting group Steiner tree problem with bounded group size (NWPCGST). However, there are several experimental studies on algorithms for exact and heuristic solutions to some versions of this problem. Recent work by Matijevic et al. [7] consider general VNS approach to solving the edge weighted group Steiner tree problem.

## 3. CONTRIBUTION

First, we introduce a deterministic rounding technique for relaxation of natural cut-based formulation of the group Steiner tree problem, which is used to find a set of terminal nodes representing each group. Once we have chosen the set of terminal nodes $T$, we compute a node weighted Steiner tree on $T$ that is a feasible solution to the group Steiner tree problem. When the group size is bounded by a some constant, we can prove that the solution tree is an $O(\log n)$-approximation to the problem. The logarithmic factor comes from the approximation algorithm of Klein and Ravi [6], which is re-interpreted as a primal-dual scheme that yields solution whose cost is at most the same logarithmic factor times optimal solution of the relaxation of natural-cut based formulation of problem. Second, we use this algorithm to solve the prize-collecting version of the problem by applying randomized rounding technique to compute the subset of group that will be covered (i.e., the rest of uncovered groups will be penalized). We prove the upper bound on expected cost and penalties of the solution. The de-randomization technique for this algorithm will be presented in the full version of the paper.

## 4. NOTATIONS

For $n \in \mathbf{N}$, $[n] = \{1, \ldots, n\}$. Let $G = (V, E)$ be an undirected graph. For $S \subset V$, we introduce $\delta(S) = \{v \in V \setminus S : u \in S, \{u, v\} \in E\}$ as a cut defined by $S$. For $r \in V$, $V' = V \setminus \{r\}$, $\mathcal{S}_{r,i} = \{S \subseteq V' : G_i \subseteq S\}$ represents the family of subsets of $V'$ that separates group $G_i$, $i \in [k]$ from $r \in V$. If $t \in V'$ then $\mathcal{S}_{r,t} = \{S \subseteq V' : t \in S\}$. $\mathbf{x} \in \mathbf{R}^{|V|}$ denotes the vector of dimension $|V|$, while $x_v$ is a component of the vector corresponding to specific vertex $v \in V$. For node weight function $w : V \to \mathbf{R}^+$ and $S \subseteq V$, $w(S) = \sum_{v \in S} w(v)$. If $H$ is a subgraph of $G$ then $w(T)$ denoted $w(V(T))$. Also, for penalty function $f : \mathcal{G} \to \mathbf{R}^+$, $\mathcal{G}' \subseteq \mathcal{G}$ and subgraph $H$ of $G$ we introduce:

$$\pi(H) = \sum_{G_i : G_i \cap V(H) = \emptyset} \pi(G_i). \tag{2}$$

## 5. NODE WEIGHTED GROUP STEINER TREE WITH BOUNDED GROUP SIZE

First, we solve the node weight group Steiner tree problem (NWGST) where the penalty function is omitted. Our algorithm is based on the idea of combining two procedures. The first procedure selects the good subsets of nodes such that each group is covered and computes the node-weighted Steiner tree (NWST) on the selected set of vertices. The first step is similar to the technique presented in [8] for the group Steiner tree problem with the bounded cluster size. The node weighted Steiner tree is computed using the algorithm of Klein and Ravi [6], which iteratively selects spiders with minimum radius to decrease the number of connected components. Klein and Ravi give an approximation ratio analysis in terms of the value of the optimal solution, but later, Guha et al. [3] refine the analysis by showing that the constructed solution is at most $O(\log n)$ times the value of the optimal fractional solution of the relaxation of the natural cut-based formulation for this problem.

We give a (rooted) natural cut-based formulation for the node weighted group Steiner tree where $r \in V$ is chosen as the root of the solution tree. The variable $x_v$ is equal to $1$ if the node $v \in V'$ when v is selected as part of the solution tree.

$$\min \sum_{v \in V} w(v) x_v$$

$$\sum_{v \in G_i} x_v \geq 1, \qquad i \in [k].$$

$$\sum_{v \in \delta(S)} x_v \geq 1, \quad S \in \mathcal{S}_{r,i}, \text{for some } i \in [k].$$

$$x_v \in \{0,1\}, \quad v \in V.$$

(3)

The constraints guarantee that every cut separating a group from root $r$ in the solution is covered by at least one edge, i.e., that the induced subgraph is connected. Optimality of the solution implies that the induced subgraph is a tree. The corresponding LP relaxation of (3) is given by replacing the integrality constraints on $x_v$ with non-negativity constraints as follows:

$$\min \sum_{v \in V} w(v) x_v$$

$$\sum_{v \in G_i} x_v \geq 1, \qquad i \in [k]$$

$$\sum_{v \in \delta(S)} x_v \geq 1, \quad S \in \mathcal{S}_{r,i}, \text{for some } i \in [k]$$

$$x_v \geq 0, \quad v \in V.$$

(4)

Although (4) has exponentially many constraints, it can be solved in polynomial time using the ellipsoid method and the max-flow min-cut separation oracle, or even considering an equivalent compact flow-based formulation. Slavik [8] noted that the algorithmic framework in the case of node-weights yields the same approximation as in the case of edge-weight which is not true. This would imply that the node-weighted group Steiner tree ($\gamma = 1$) can be approximated within the factor $2(1 - 1/n)$, but it is known the NWST is set cover hard [6]. We give the analysis that proves that the algorithmic framework in [8] gives the $O(\log n)$ - approximate solution to the NWGST with bounded group size. Since our approach is based on solving NWST problem on selected terminal set, we give a natural cut-based relaxation of NWST problem on the terminal set $T \subset V$ and some $r \in T$ :

$$\min \sum_{v \in V} w(v) x_v$$

$$\sum_{v \in \delta(S)} x_v \geq 1, \qquad S \in \mathcal{S}_{r,t}, \text{for some } t \in T \setminus \{r\}.$$

$$x_v \geq 0, \quad v \in V.$$

(5)

In the next algorithm we implement the idea of rounding technique from [8] for NWGST problem with group size bounded with $\gamma$ .

**Algorithm 1.**

```
Input: an undirected graph $\mathbf{G} = (V, E)$, a node-weighted function $\mathbf{w}: \mathbf{V} \to \mathbb{R}^+$, a family of groups $\mathcal{G} = \{.G - 1.,G_2,\dots,G_k\}$ , $G_i \subset V$ , $\gamma > 0$ such that $|G_i| \le \gamma$ for all $\mathbf{i} \in [k]$.
Output: a group Steiner tree $\mathbf{T} = (V_T, E_T)$ in $\mathbf{G}$
find an optimal solution $\mathbf{x}^*$ for input instance of (2)
$T_{\mathcal{G}} \leftarrow \emptyset$
For $\mathbf{i} \in [k]$
    find one $\mathbf{v} \in G_i$ such that $x_v^* \ge 1/\gamma$
    $T_{\mathcal{G}} \leftarrow T_{\mathcal{G}} \cup \{\mathbf{v}\}$
EndFor
Find node-weighted Steiner tree $T = (V_T, E_T)$ in $\mathbf{G}$ on the terminal set $T_{\mathcal{G}}$ using Klein and Ravi algorithm in [6].
Return $\mathbf{T}$
```

**Lemma 1**. Let $\mathbf{G} = (V, E)$ be an undirected graph, $\mathbf{w}: \mathbf{V} \to \mathbb{R}^+$ a node-weighted function and $\mathcal{G} = \{.G - 1.,G_2,\dots,G_k\}$ , $G_i \subset V$ , $\gamma > 0$ such that $|G_i| \le \gamma$ , for all $\mathbf{i} \in [k]$, family of groups. If $\tilde{\mathbf{x}}$ is a feasible solution to the (2) with some fixed root $r \in V$ , then $\mathbf{x} = \gamma\tilde{\mathbf{x}}$ is a feasible solution to the (3) with $\mathbf{T} = \{.\tilde{x} - \mathbf{v}. \ge 1/\gamma : \mathbf{v} \in V\}$ and same root $r$ .

The proof of this lemma will be given in the journal version of the paper.

**Theorem 1.** Let $\mathbf{G} = (V, E)$ be an undirected graph, $\mathbf{w}: \mathbf{V} \to \mathbb{R}^+$ a node-weighted function and $\mathcal{G} = \{.G - 1.,G_2,\dots,G_k\}$ , $G_i \subset V$ , $\gamma > 0$ such that $|G_i| \le \gamma$ , for all $\mathbf{i} \in [k]$, family of groups. Algorithm 1 returns $O(\log n)$ - approximate solution to the NWGST problem.

Proof. Let $ALG$ be the cost of the solution tree that is returned by Algorithm 1. Since the algorithm of Klein and Ravi [6] is used, due to the reinterpretation in [3], it follows that

$$ALG \le O(\log n) OPT_f^{st}. \tag{6}$$

where $OPT_f^{st}$ is the value of the optimal solution of (3) for terminal set $T_{\mathcal{G}}$. From Lemma 1 follows that

$$ALG \le O(\log n) OPT_f^{st} \le O(\log n) OPT_f^{gst} \le O(\log n) OPT, \tag{7}$$

where $OPT$ and $OPT_f^{gst}$ denote the values of optimal solutions of (1) and (2), respectively.

■

## 6. NODE WEIGHTED PRIZE-COLLECTING GROUP STEINER TREE WITH BOUNDED GROUP SIZE

In this section we apply Algorithm 1 in the randomized rounding scheme for NWPCGST. First, we give a natural cut-based integer linear programming formulation for NWPCGST. As for NWGST, we consider a rooted version of the problem by fixing $\mathbf{r} \in V$ . For each group $G_i$, $\mathbf{i} \in [k]$, we introduce variable $z_i$ which is set to $1$ if group $G_i$ is not spanned by the solution tree $\mathbf{T}$, $0$ otherwise. Similarly, for each vertex $v \in V'$ variable $x_v$ is set to $1$ if $v \in V'$ is spanned by the solution tree $\mathbf{T}$, and $0$ otherwise.

$$
\begin{aligned}
&\min \sum_{v \in V'} w(v) x_v + \sum_{i \in [k]} \pi(G_i) z_i \sum_{v \in G_i} x_v + z_i \geq 1, \qquad i \in [k], \\
&\sum_{v \in \delta(S)} x_v + z_i \geq 1, \quad i \in [k], S \in \mathcal{S}_{r,i} \\
&x_v, z_i \in \{0,1\}, \quad v \in V'.
\end{aligned} \tag{8}
$$

Constrains ensure that all selected groups with $z_i = 0$ are connected to the $r$. Our algorithm is based on the idea of finding „good "subset of groups that will be covered by solution, while other uncovered groups will be penalized. We present randomized rounding scheme used to calculate subset of selected groups that is identical to the scheme presented in [5] except the input graph is node weighted.

**Algorithm 2.**

```
1. Input: an undirected graph $G = (V, E)$, a node-weighted function $w: V \to \mathbb{R}^+$, penalty
   function $\pi: \mathcal{G} \to \mathbf{R}^+$, a family of groups $\mathcal{G} = \{, G - 1, , G_2, \dots, G_k\}$, $G_i \subset V$, $\gamma > 0$ such that
   $|G_i| \leq \gamma$ for all $i \in [k]$.
2. Output: a prize collecting group Steiner tree $\mathbf{T} = (V_T, E_T)$ in $\mathbf{G}$
3. find an optimal solution $(x^*, z^*)$ of LP relaxation of (8)
4. $\mathcal{G}' \leftarrow \emptyset$
5. $\beta \leftarrow 1 - e^{-\frac{1}{2\gamma}}$
6. Select $\alpha$ uniformly at random from $\mathcal{U}(0, \beta)$
7. For $i \in [k]$
       If $z_i^* \leq \alpha$ then
              $T_{\mathcal{G}} \leftarrow T_{\mathcal{G}} \cup \{v\}$
       EndIf
8. EndFor
9. Find node weighted group Steiner tree $T = (V_T, E_T)$ in $\mathbf{G}$ on the family $\mathcal{G}'$ using Algorithm 1
10. Return $\mathbf{T}$
```

**Lemma 2.** Let $(x^*, z^*)$ be an optimal solution of LP relaxation of (8). A total weight of the group Steiner tree on family $\mathcal{G}'$ in line 8 of Algorithm 2 is bounded as follows:

$$
\mathbf{w}(T) \leq \frac{2\gamma}{1-\alpha} \sum_{v \in V'} w(v) x_v^*. \tag{9}
$$

**Lemma 3.** Let $(\mathbf{x}^*, \mathbf{z}^*)$ be an optimal solution of LP relaxation of (8). A total amount of penalty $\pi(T)$ for uncovered groups in $T$ computed at line 8 of Algorithm 2 is bounded as follows:

$$
\pi(T) \leq \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^{k} \pi(G_i) z_{G_i}^*. \tag{10}
$$

The proof of Lemma 2 and Lemma 3 will be given in the journal version of the paper.

**Theorem 2.** The expected weight of the solution found by Algorithm 2 is at most $\dfrac{1}{1 - e^{-\frac{1}{2\gamma}}}$ optimal.

Proof. The expected weight of the solution tree found at line 9 of Algorithm 2 is $\mathbb{E}[w(T)]$ which is upped bounded as follows:

$$\mathbb{E}[w(T)] \leq 2\gamma\left(\sum_{v\in V'} w(v)x_v^*\right)\mathbb{E}\left[\frac{1}{1-\alpha}\right] = 2\gamma\left(\sum_{v\in V'} w(v)x_v^*\right)\frac{1}{\beta}\int_0^{\beta}\frac{1}{1-t}dt = \frac{2\gamma}{\beta}\ln\frac{1}{1-\beta}\left(\sum_{v\in V'} w(v)x_v^*\right). \tag{11}$$

On the other hand, expected penalty paid for uncovered groups can be bounded as

$$\mathbb{E}[\pi(T)] \leq \frac{1}{\beta}\sum_{i=1}^{k}\pi(G_i)z_{G_i}^*. \tag{12}$$

which gives the overall bound on the expected solution weight as follows:

$$\mathbb{E}[w(T)] + \mathbb{E}[\pi(T)] \leq \max\left\{\frac{2\gamma}{\beta}\ln\frac{1}{1-\beta}, \frac{1}{\beta}\right\}\left(\sum_{v\in V'} w(v)x_v^* + \sum_{i=1}^{k}\pi(G_i)z_{G_i}^*\right). \tag{13}$$

The maximum is attained for the $\beta = 1 - e^{-\frac{1}{2\gamma}}$ which gives approximation ratio $\frac{1}{1-e^{-\frac{1}{2\gamma}}}$. ■

## REFERENCES

[1] Garg, N., Konjevod, G., Ravi, R., 2000. A Polylogarithmic Approximation Algorithm for the Group Steiner Tree Problem. Journal of Algorithms 37, 66–84.

[2] Glicksman, H., Penn, M., 2008. Approximation algorithms for group prize-collecting and location-routing problems. Discrete Applied Mathematics, Cologne/Twente Workshop on Graphs and Combinatorial Optimization 156, 3238–3247.

[3] Guha, S., Moss, A., Naor, J. (Seffi), Schieber, B., 1999. Efficient recovery from power outage (extended abstract), in: Proceedings of the Thirty-First Annual ACM Symposium on Theory of Computing, STOC '99. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 574–582.

[4] Halperin, E., Krauthgamer, R., 2003. Polylogarithmic inapproximability, in: Proceedings of the Thirty-Fifth Annual ACM Symposium on Theory of Computing, STOC '03. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 585–594.

[5] Jelić, S., 2015. Fast approximation algorithms for connected set cover problem and related problems (info:eu-repo/semantics/doctoralThesis). University of Zagreb. Faculty of Science. Department of Mathematics.

[6] Klein, P., Ravi, R., 1995. A Nearly Best-Possible Approximation Algorithm for Node-Weighted Steiner Trees. Journal of Algorithms 19, 104–115.

[7] Matijević, L., Jelić, S., Davidović, T., 2022. General variable neighborhood search approach to group steiner tree problem. Optim Lett.

[8] Slavik, P., 1998. Approximation algorithms for set cover and related problems (phd). State University of New York at Buffalo, USA.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# AN APPLICATION OF BOUND-CONSTRAINED QUADRATIC PROGRAMMING IN OPTIMIZATION PROBLEM

HANA STEFANOVIĆ[1], ANA SAVIĆ[2], GORAN BJELOBABA[3]

[1] Comtrade Information Technology School of Applied Studies, Belgrade, hana.stefanovic@its.edu.rs
[2] School of Electrical and Computer Engineering, Belgrade, ana.savic@viser.edu.rs
[3] National Bank of Serbia, Goran.Bjelobaba@nbs.rs

---

***Abstract:*** *This paper provides an algorithm for solving the problem of minimizing a convex quadratic function which is subject to bound constraints. This type of problem appears quite frequently in lot of applications. Some problems that often occur in computational physics and engineering could be reduced to quadratic programming problems. This kind of problems is analyzed in this paper, using a Lagrange multiplier approach. The Lagrange multiplier approach is used in solving the quadratic programming problem with positive definite Hessian matrix with bound constraints. This problem in the Active Set techniques category. At each iteration, the algorithm modifies the minimization parameters, which is simulated in the MATLAB programming environment and R programming language.*

***Keywords:*** *Boundary conditions model, Hessian matrix, MATLAB, quadratic programming problem.*

---

## 1. INTRODUCTION

Quadratic programming is a powerful and versatile technique, with many applications in a different range of fields.

A quadratic program is a constrained optimization problem where the objective function is a multidimensional generalization of a quadratic function [1]. The constraints in a standard quadratic program are a mix of linear equality and inequality constraints [2]. One of the most important applications is in portfolio allocation theory, integrated with the computational foundation of Support Vector Machine – SVM.

Huang [3] proposes SVM as a learning model with the main focus on solving classification problems, in Huang's instance the ranking of companies forming stock market.

Optimization theory is also applied for operations research, including the calculus of variations, control theory, Markov chains, decision theory, convex optimization theory, queuing systems, network analysis, etc [4, 5]. Many geometric optimization problems can also be formulated as instances of linear or quadratic programming [6].

This paper presents determining the shape of a circus tent by solving a quadratic optimization problem, using MATLAB solution of a quadratic program [7].

The tent is formed from heavy, elastic material, and settles into a shape that has minimum potential energy subject to constraints. A discretization of the problem leads to a bound-constrained quadratic programming problem.

Smoothness energies are usually used in geometry processing in order to model scattered data interpolation, dense data denoising and regularization during shape optimization. The squared Laplacian energy is a popular choice of energy with a corresponding standard implementation: squaring the discrete Laplacian matrix. For compact domains, when values along the boundary are not known in advance, this construction bakes in low-order boundary conditions. This causes the geometric shape of the boundary to strongly bias the solution. For many applications, this is undesirable, so the squared Frobenius norm of the Hessian is used as a smoothness energy. Unlike the squared Laplacian energy, this energy's natural boundary conditions correspond to meaningful high-order boundary conditions.

The algorithm for solving a quadratic programming problem with positive definite Hessian and bound constraints, which is analyzed in this paper, usually employs a Lagrange multiplier approach. It falls in the category of active set techniques [8, 9].

The model of the circus tent shape in order to cover a square lot is simulated in MATLAB, using the MATLAB routine quadprog. The same problem is also solved in R programming language, using the R's quadprog package, where an energy function associated to this problem is discretized giving rise to a sparse quadratic program.

## 2. PROBLEM FORMULATION

The problem could be formulated as modeling the shape of a circus tent to cover a square lot, with different number of poles. The poles are covered with a heavy elastic material, while the shape of the tent is modeled as the height $x(p)$ of the tent at position $p$.

The potential energy of heavy material lifted to height $x$ is $c \cdot x$, where a constant $c$ is proportional to the weight of the material.

The elastic potential energy of a piece of the material $E_{\text{stretch}}$ is approximately proportional to the second derivative of the material height, $x(p)$, at the postion $p$. The second derivative can be approximated by the five-point finite difference approximation [7]:

$$E_{\text{stretch}}(p) =$$

$$\left(-\left(x(p+\Delta_x)+x(p-\Delta_x)+x\left(p+\Delta_y\right)+x\left(p-\Delta_y\right)\right)+4x(p)\right)\cdot x(p) \tag{1}$$

where $\Delta_x$ represents a shift in the $x$ coordinate direction and $\Delta_y$ is a shift in the $y$ coordinate direction. In the simulation, the finite difference steps are of size 1, so $\Delta_x$ represents a shift of 1 in the first coordinate direction, and $\Delta_y$ represents a shift of 1 in the secon coordinate direction.

The tent natural shape is found by minimizes the total potential energy. This problem could be solved by minimizing the sum over all positions $p$ of $E_{\text{stretch}}(p)+c\cdot x(p)$. This potential energy is a quadratic expression of the variable $x$, and can be determined using MATLAB quadprog routine, after specifying the boundary conditions. In the circus tent shape modeling, the boundary conditions mean that the height of the tent at the edges is zero.

The quadprog minimizes:

$$\frac{1}{2}x^T H x + f^T x \tag{2}$$

where the linear term $f^T x$ presents the potential energy of the material height and $H$ (the matrix) presents the structured Hessian.

There are two major strategies for the problem described with (1). Those two strategies require some steps to be taken. The Active Set strategy [8, 9, 10] generates iterates on a face of the feasible box until either a minimizer of the objective function is found. The basic disadvantage Active Set strategy is that all constraints are added or removed one at a time. According to this, number of iterations need to be adequate in sense of proportion to the problem size.

The gradient projection methods are proposed in order to overcome mentioned disadvantages.

Thus the active set algorithm is allowed to add/remove some constraints for each iteration. The second strategy [11] consists in treating the inequality constraints using interior point algorithms. Interior point algorithm uses Newton's method to minimize a series of parameterized barrier functions. The solution of a linear system provides a feasible search direction. This solution is in direct connection with computational costs. A parallel implementation of an interior-point method for box-constrained quadratic programming is also implemented [12, 13].

The problem with one higher central pole symmetrically surrounded by four equal height poles is solved in [7] but without the discussion of an impact of asymmetric location of different height poles, which is the subject of next section.

## 3. SIMULATION RESULTS

The circus square lot with six asymmetrically located poles, with different heights, is presented in Fig. 1, while the lower bound for the tent, *L*, is presented if Fig. 2.

The natural shape leads to the minimum of an energy function which is computed from the surface position and squared norm of its gradient. In that case the discrete approximation of the energy function given by (2) is used. Each point of the energy function is only affected by its immediate neighbors. Consequently the Hessian matrix *H* is sparse and it has a special structure. This algorithm might be used for the optimization problem solving, since the matrix *H* is sparse.

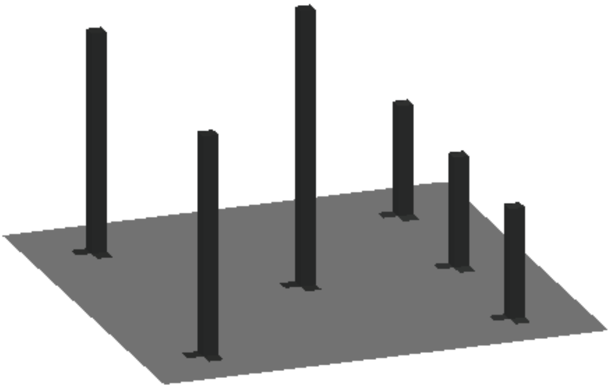


**Figure 1:** The circus square lot with six asymmetrically located poles

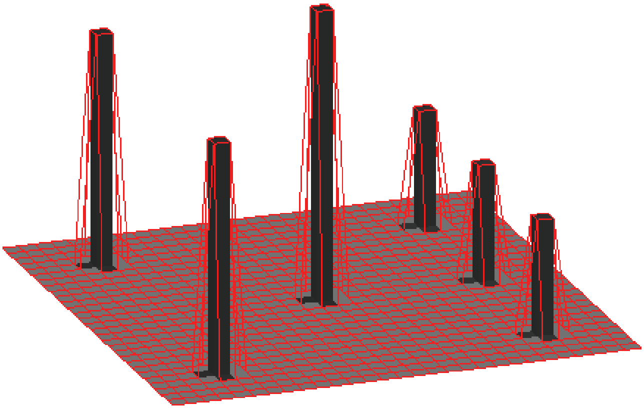


**Figure 2:** The lower bound for the tent

The simulation results obtained by applying the MATLAB routine quadprog, are presented in Fig. 3.

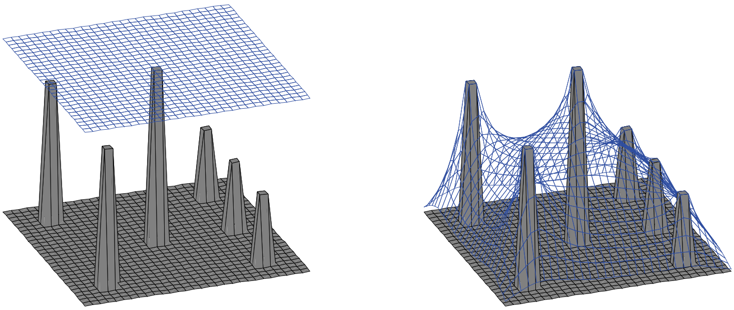


**Figure 3:** The circus tent shape corresponding to the extreme value (minimum) of potential energy function

More detailed presentation of circus tent shape is illustrated in Fig. 4. and Fig. 5.

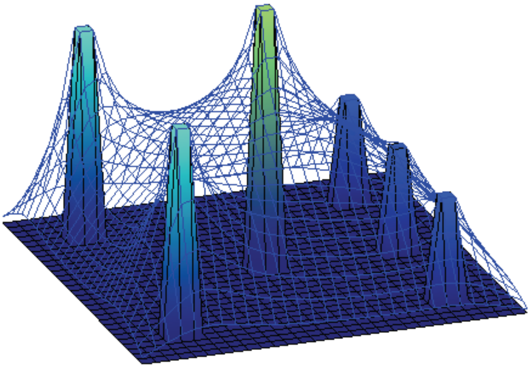


**Figure 4:** More detailed presentation of circus tent shape

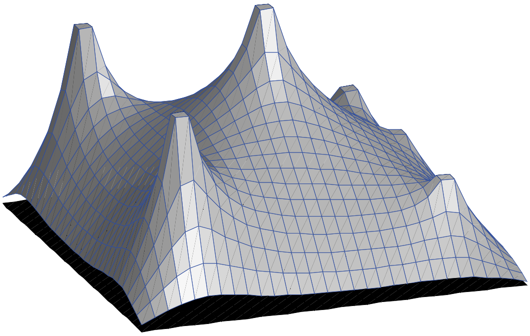


**Figure 5:** More detailed presentation of circus tent shape

The numerical approximation to the function which minimizes the potential energy and fits on circus tent is also performed using the R's quadprog library. The discrete Laplacian sparse matrix with non-zero bands is used, and a numerical approximation to the Laplace operator is applied using Kronecker products to build the discrete Laplacian on a square or rectangular grid. Simulation results are illustrated in Fig. 6 and Fig. 7.

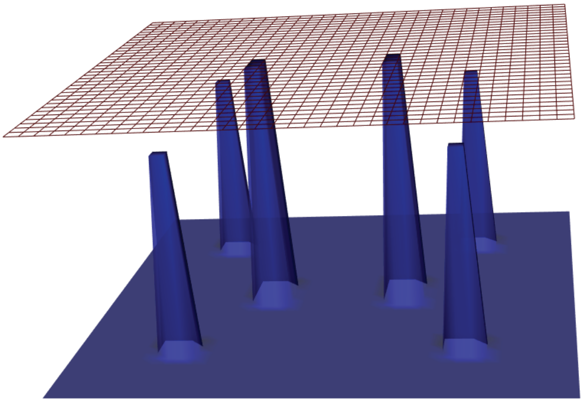


**Figure 6:** The circus lot with six poles and grid

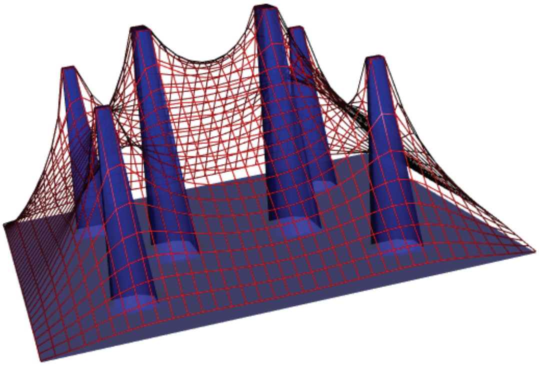


**Figure 7:** The circus tent shape that corresponds to the minimum of potential energy function

## 4. CONCLUSION

The algorithms for solving a quadratic programming problem are very useful in the situations when a product is required in different amounts, for different periods, or in the cases when the supply of the product is limited by capacity constraint. Typical examples are pricing of public utilities such as water, electricity, etc. The problem of choosing the appropriate size of a circus tent, which is presented in this paper, can model some of these situations. The problem is solved using MATLAB quadprog routine and R's quadprog library.

## REFERENCES

[1] Adler, I., & Shamir, R. (1993). A randomized scheme for speeding up algorithms for linear and convex programming problems with high constraints-to-variables ratio. Math. Program., vol. 61, no. 1–3, pp. 39–52.

[2] Facchinei, F., & Pang, J. (2003). Variational Inequalities and Complementarity Problems. Springer Series in Operations Research.

[3] Huang, C.F. (2012). A hybrid stock selection model using genetic algorithms and support vector regression. Appl. Soft Comput. J., vol. 12, no. 2, pp. 807–818.

[4] Chong, E., & Zak, S. (2001). An Introduction to Optimization (2nd ed.). New York: Wiley.

[5] Cruz, C., González, J.R., & Pelta, D.A. (2011). Optimization in dynamic environments: A survey on problems, methods and measures. Soft Comput., vol. 15, no. 7, pp. 1427–1448.

[6] Cortez, P. (2021). Modern Optimization with R. Springer Cham.

[7] https://www.mathworks.com/help/optim/ug/large-scale-problem-based-quadratic-programming.html.

[8] Fletcher, R. (1987). Practical Methods of Optimization (2nd ed.). John Wiley & Sons.

[9] Curtis, F.E., Han, Z., & Robinson, D.P. (2015). A globally convergent primal-dual active-set framework for large-scale convex quadratic optimization. Comput. Optim. Appl., vol. 60, no. 2, pp. 311–341.

[10] Dostal, Z., & Schoberl, J. (2005). Minimizing Quadratic Functions Subject to Bound Constraints with the Rate of Convergence and Finite Termination. Comput. Optim. Appl., vol. 30, no. 1, pp. 23–43.

[11] Coleman, T.F., & Liu, J. (1999). An interior Newton method for quadratic programming. Mathematical Programming, pp. 491–523.

[12] D'Apuzzo, M., Marino, M., Pardalos, P., & Toraldo, G. (2000). A Parallel Implementation of a Potential Reduction Algorithm for Box-Constrained Quadratic Programming. In Proc. European Conf. On Parallel Processing, pp. 839–848.

[13] Billionnet, A., & Elloumi, S. (2007). Using a mixed integer quadratic programming solver for the unconstrained quadratic 0-1 problem. Math. Program., vol. 109, no. 1, pp. 55–68.

# МЕКО РАЧУНАРСТВО
# SOFT COMPUTING

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# MOGUĆNOSTI PRIMENE DEMPSTER-SHAFER TEORIJE I D BROJEVA ZA OBRADU NEIZVESNOSTI PRILIKOM ODREĐIVANJA TEŽINSKIH KOEFICIJENATA KRITERIJUMA

# POSSIBILITIES OF APPLYING DEMPSTER-SHAFER THEORY AND D NUMBERS FOR HANDLING UNCERTAINTY IN DETERMINING THE WEIGHT COEFFICIENTS OF CRITERIA

DRAGAN PAMUČAR[1], GORAN ĆIROVIĆ[2], MILENA POPOVIĆ[1], BISERA ANDRIĆ GUŠAVAC[1]

[1]Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija
[2]Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija

---

***Rezime:*** *Dempster-Shafer teorija dokaza ima široku primenu za predstavljanje neizvesnosti kroz dodeljivanje verovatnoće elementima koji su organizovani u okviru odgovarajućeg skupa. U ovom radu predstavljena je mogućnost primene Dempster-Shafer i D brojeva za obradu neizvesnosti u ekspertskim preferencijama. D brojevi integrisani su u LBWA višekriteirjumski model sa ciljem obrade neizvesnosti u grupnim informacijama. Na realnom primeru prikazana je primena LBWA-D modela i definisani su težinski koeficjenti kriterijuma koji mogu dalje da se integrišu u modele za donošenje odluka. Predloženi model predstavlja dobru osnovu za istraživanje daljih mogućnosti integracije D brojeva sa grubim skupovima i fuzzy skupovima, kao i drugim teorijama za obradu neizvesnosti.*

***Ključne reči:*** *Dempster-Shafer teorija, D brojevi, LBWA višekriteirjumski model.*

***Abstract:*** *The Dempster-Shafer theory proves to be widely applicable for representing uncertainty by assigning probabilities to elements that are organized within an appropriate set. This paper presents the possibility of applying Dempster-Shafer theory and D numbers for processing uncertainty in expert preferences. D numbers are integrated into the LBWA multi-criteria model with the aim of processing uncertainty in group information. The application of the LBWA-D model is demonstrated using a real-world example, and the weighting coefficients of the criteria are defined, which can be further integrated into decision-making models. The proposed model provides a solid foundation for further research into the integration of D numbers with rough sets, fuzzy sets, and other theories for processing uncertainty.*

***Keywords:*** *Dempster-Shafer theory, D numbers, LBWA-D model.*

---

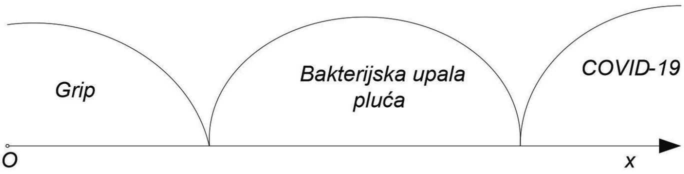
## 1. UVOD

Dempster-Shafer teorija dokaza [1,9] koristi se za obradu neizvesnih informacija koje spadaju u oblast veštačke inteligencije. Zbog svoje efikasnosti u obradi neizvesnih informacija, teorija dokaza se široko primenjuje u brojnim oblastima, kao što su prepoznavanje oblika [4], problemi na mrežama [7], donošenje odluka [6,10], teorija rizika [8] itd.

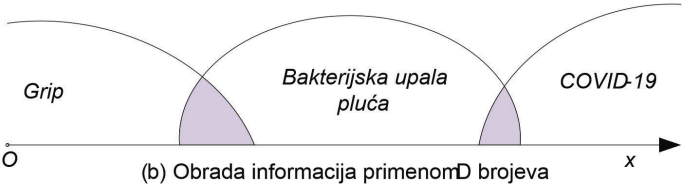
Međutim, u klasičnoj Dempster-Shafer teorija dokaza postoje određena ograničenja. Jedan od dobro poznatih problema je upravljanje protivurečnostima kada su dokazi konfliktni. Na primer, Dempster-Shafer teorija dokaza podrazumeva isključivost elemenata prilikom razlučivanja što je limitiralo praktičnu primenu teorija dokaza [10]. Zato se u poslednjih nekoliko godina istražuje se mogućnost primene D brojeva za predstavljanje neizvesnih informacija, što predstavlja proširenje Dempster-Shafer teorije dokaza [2,3]. Deng i koautori [2] izdvajaju ključan problem koji se eliminiše primenom D brojeva, a to je eliminisanje isključivosti elemenata prilikom rezonovanja.

Problem isključivosti prilikom rezonovanja prikazaćemo kroz naredni primer medicinske dijagnostike.

*Primer 1*. Pretpostavimo da pacijent ima simptome temperature, upale pluća i kašlja. Dvojica lekara pregledala su pacijenta i pretpostavljaju da se radi o gripu (F), bakterijskoj upali pluća (B) ili COVID-19 (C). Prvi lekar je podneo izveštaj u kojem navodi da je verovatnoća 35% da pacijent ima F ili B ($m_1\{F,B\}$=0,35), dok je verovatnoća 55% da pacijent ima C ($m_1\{C\}$=0,55), preostala verovatnoća 10% se odnosi na nepoznato. Drugi lekar je u svom izveštaju naveo da je 50% siguran da pacijent ima F ($m_2\{F\}$=0,50) i da je 40 % siguran da pacijent ima ($m_2\{C\}$=0,40), ostalih 10% nije siguran koje oboljenje pacijent ima. Problem koji se postavlja pred lekare je da tačno definišu koje oboljenje pacijent ima. Primenom Dempster-Shafer teorija dobijeni su sledeći rezultati: $m\{F\}$=0,340; $m\{C\}$=0,584; $m\{F,B\}$=0,059 i $m\{F,B,C\}$=0,017. Kao što se vidi iz rezultata, pojavljuje se hipoteza koja obuhvata sve ostale bolesti koje uzrokuju simptome temperature, upale pluća i kašlja. Ta hipoteza predstvaljena je kao *{F,B,C}*. Međutim, ta hipoteza nije obuhvaćena izveštajem lekara. Očigledno je da ta hipoteza nije racionalna sa aspekta medicinske dijagnostike. Pojava neracionalne hipoteze posledica je problema isključivosti elemenata u Dempster-Shafer teoriji dokaza (Slika 1a), u našem slučaju dijagnostikovanih bolesti. Iz ovog primera možemo da zaključimo da ovakvo ograničenje DS teorije ograničava njenu primenu za rešavanje pojedinih realnih problema.



(a) Obrada informacija primenomDempster-Shafer teorije



(b) Obrada informacija primenomD brojeva

**Slika 1:** Okvir razlučivanja u Dempster-Shafer teoriji dokaza i D brojevima

Primenom D brojeva eliminišu se navedeni nedostaci Dempster-Shafer (DS) teorije, pošto kod D brojeva ekskluzivno svojstvo elemenata u okviru razlikovanja nije potrebno i ne postoji ograničenje potpunosti (Slika 1b). Eliminisanjem ovog nedostatka kroz primenu D brojeva, omogućena je primena DS teorije za obradu neizvesnosti na objektivan način. Matematički koncept D brojeva prikazan je u narednom delu.

*Definicija* 1. Neka je $\Omega$ konačan neprazan skup, i *D* broj $D: \Omega \rightarrow [0,1]$, tada

$$\sum_{A \subseteq \Omega} D(A) \leq 1 \ and \ D(\emptyset) = 0 \tag{1}$$

gde ∅ je prazan skup i A predstavlja bilo koji podskup od $\Omega$. Kao što je naglašeno u okviru prednosti D brojeva, teorija D brojeva zahteva od elementa skupa Ω da budu obostrano isključivi. Smatra se da je infromacija potpuna ako je $\sum_{A \subseteq \Omega} D(A) = 1$, odnosno ako je $\sum_{A \subseteq \Omega} D(A) < 1$ informacija je nepotpuna.

*Definicija* 2 [2]. Neka su data dva D broja $D_1 = \{(b_1, v_1), \ldots, (b_i, v_i), \ldots, (b_n, v_n)\}$ i $D_2 = \{(b_n, v_n), \ldots, (b_i, v_i), \ldots, (b_1, v_1)\}$, tada kombinaciju *D* brojeva $D = D_1 \odot D_2$ možemo da definišemo kao

$$\begin{cases} D(\emptyset) = 0 \\ D(B) = \dfrac{1}{1-K_D} \displaystyle\sum_{B_1 \cap B_2 = B} D_1(B_1) D_2(B_2), \; B \neq \emptyset \end{cases}$$

$$with$$

$$K_D = \frac{1}{Q_1 Q_2} \textstyle\sum_{B_1 \cap B_2 = \emptyset} D_1(B_1) D_2(B_2) \tag{2}$$

$$Q_1 = \sum_{B_1 \subseteq \Omega} D_1(B_1)$$

$$Q_2 = \sum_{B_2 \subseteq \Omega} D_2(B_2)$$

Izraz (2) predstvalja generalizaciju DS pravila [5]. Ukoliko je kroz D brojeve ($D_1$ i $D_2$) prezentovana potpuna informacija odnosno, ako $Q_1 = 1$ i $Q_2 = 1$, tada se pravilo (2) transformiše u DS pravilo. Pravilo (2) predstavlja bazični alat za fuziju neizvesnih informacija koje su sadržane u D brojevima.

Ako postoje dva D broja koja su predstavljena kao $D_1 = \{(b_1, v_1), \ldots, (b_i, v_i), \ldots, (b_n, v_n)\}$ i $D_2 = \{(b_n, v_n), \ldots, (b_i, v_i), \ldots, (b_1, v_1)\}$ $(b_i, v_i)$, $(b_j, v_j)$... $(b_n, v_n)\}$ tada važi da je $D_1 \Leftrightarrow D_2$, gde „$\Leftrightarrow$“ znači „jednako“.

Za diskretan D broj $D = \{(b_1, v_1), (b_2, v_2)$... $(b_i, v_i)$, $(b_j, v_j)$... $(b_n, v_n)\}$ možemo da definišemo operator integracije na sledeći način

$$I(D) = \textstyle\sum_{i=1}^{n} d_i v_i \tag{3}$$

gde je: $d_i \in R^+, v_i > 0$ i $\sum_{i=1}^{n} v_i \leq 1$.

## 2. PROŠIRENJE LBWA METODE PRIMENOM D BROJEVA

*Level Based Weight Assessment* (LBWA) metodu za određivanje težinskih koeficijenata kriterijuma predstavili su Žižović i Pamučar 2019.godine [11]. Iz grupe subjektivnih modela za definisanje težina kriterijuma LBWA se izdvaja zbog sledećih prednosti: 1) LBWA model omogućava proračun težinskih koeficijenata uz mali broj poređenja kriterijuma; 2) Algoritam LBWA modela se ne usložnjava sa povećanjem broja kriterijuma, što ga čini pogodnim za primenu u kompleksnim modelima za donošenje odluka sa većim brojem kriterijuma evaluacije; i 3) LBWA model omogućava donosiocima odluke da, kroz logičan algoritam, predstave svoje preferencije prilikom prioritetizacije kriterijuma. U narednom delu prikazan je algoritam LBWA-D modela:

***Korak 1*****:** Određivanje *najznačajnijeg kriterijuma iz skupa kriterijuma*. Pretpostavimo da postoji grupa od *k* eksperata koji su podeljeni u dve homogene grupe. Takođe, pretpostavimo da su eksperti definisali skup $C = \{C_1, C_2, \ldots, C_n\}$ kriterijuma, gde *n* predstavlja ukupan broj kriterijuma. Pretpostavimo da su eksperti arbitrarno doneli odluku da je $C_1$ najuticajniji kriterijum iz skupa *C*.

***Korak 2*****:** *Grupisanje kriterijuma po nivoima značajnosti*. Eksperti vrše grupisanje kriterijuma na podskupove, odnosno grupisanje kriterijuma prema nivoima značajnosti, uz poštovanje sledećeg pravila:

***Nivo*** $S_1$***:*** Na nivou $S_1$ grupisati kriterijume iz skupa $S$ čija je značajnost jednaka značajnosti kriterijuma $C_1$ ili je do dva puta manja od značajnosti kriterijuma $C_1$;

…

***Nivo*** $S_k$***:*** Na nivou $S_k$ grupisati kriterijume iz skupa $S$ čija je značajnost tačno $k$ puta manja od značajnosti kriterijuma $C_1$ ili je do $k+1$ puta manja od značajnosti kriterijuma $C_1$.

***Korak 3:*** *Poređenje kriterijuma prema značajnosti*. U okviru formiranih podskupova (nivoa) ekspertske grupe vrše poređenje kriterijuma prema njihovoj značajnosti. Svakom kriterijumu

$C_{i_p} \in S_i$ u okviru podskupa $C_i = \{C_{i_1}, C_{i_2}, \dots, C_{i_s}\}$ dodeljuje se vrednost $I_{i_p} = \{(b_{i_p(1)}, v_{i_p(1)}), \dots, (b_{i_p(i)}, v_{i_p(i)}), \dots, (b_{i_p(m)}, v_{i_p(m)})\}$, $b_{i_p} \in [0, r], v_{i_p} \leq 1$. Maksimalna vrednost skale za poređenje kriterijuma definiše se primenom izraza (4)

$$r = max\{|S_1|, |S_2|, \dots, |S_k|\} \tag{4}$$

Obzirom da imamo dve homogene grupe ekspertata, za svaku grupu dobijamo vrednosti $I_{i_p}$, odnosno dobijamo $I^1_{i_p}$ i $I^2_{i_p}$. Tako je za svaku poziciju $I^1_{i_p}$ i $I^2_{i_p}$ definisan D broj $I_{i_p} = \{(b_{i_p(1)}, v_{i_p(1)}), \dots, (b_{i_p(i)}, v_{i_p(i)}), \dots, (b_{i_p(m)}, v_{i_p(m)})\}$. U cilju dobijanja jedinstvene vrednosti kojom je izvršeno poređenje *j*-tog kriterijuma sa najuticajnijim kriterijumom ($I_{i_p}$) neophodono je izvršiti fuziju neizvesnosti koje su predstavljene u inicijalnim ekspertskim preferencijama. U skladu s tim, primenom pravila za kombinaciju D brojeva $I_{i_p} = I^1_{i_p} \odot I^2_{i_p}$, izraz (2), vrši se analiza i fuzija neizvesnosti iz D brojeva. Nakon fuzije neizvesnosti, definišu se konačne vrednosti $I_{i_p} = \{(b_{i_p(1)}, v_{i_p(1)}), (b_{i_p(2)}, v_{i_p(2)}), \dots, (b_{i_p(m)}, v_{i_p(m)})\}$. Primenom operatora integracije, izraz (3), neizvesnosti koje su predstavljene D brojevima integrišu se u jedinstvenu vrednost $\bar{I}_{i_p}$.

***Korak 4:*** *Definisanje koeficijenta elastičnosti.* Na osnovu definisane maksimalne vrednosti skale za poređenje kriterijuma (*r*), izraz (4), definiše se koeficijent elastičnosti $r_0 \in N$ (gde *N* predstavlja skup realnih brojeva) koja treba da zadovolji uslov da $r_0 > r$, $r = max\{|S_1|, |S_2|, \dots, |S_k|\}$.

***Korak 5.*** *Proračun funkcije uticaja kriterijuma.* Funkcija uticaja $f: S \to R$ definiše se primenom izraza (5).

$$f(C_{i_p}) = \frac{r_0}{i \cdot r_0 + \bar{I}_{i_p}} \tag{5}$$

gde *i* predstavlja broj nivoa u koji je razvrstan kriterijum, $r_0$ predstavlja koeficijent elastičnosti, dok $\bar{I}_{i_p}$ predstavlja vrednost koja dodeljena kriterijumu $C_{i_p}$ u okviru posmatranog nivoa.

***Korak 6.*** Proračun optimalnih vrednosti težinskih koeficijenata kriterijuma. Primenom izraza (6) proračunava se težinski koeficijent najuticajnijeg kriterijuma:

$$\xi_1 = \frac{1}{1 + f(C_2) + \dots + f(C_n)} \tag{6}$$

gde $\xi_1$ predstavlja vrednost težinskog koeficjenta najuticajnijeg kriterijuma, dok $f(C_n)$ predstvalja funkciju uticaja kriterijuma ($f(C_{i_p})$) koja je definisana u Koraku 5. Vrednosti težinskih koeficijenata preostalih kriterijuma dobijamo primenom izraza (7)

$$\xi_j = f(C_j) \cdot \xi_1 \tag{7}$$

gde je $j = 2, 3, \dots, n$, a *n* predstavlja ukupan broj kriterijuma.

## 3. PRIMENA LBWA-D MODELA ZA DEFINISANJE TEŽINSKIH KOEFICIJENATA KRITERIJUMA

U narednom delu je prikazan postupak definisanja težinskih koeficijenata primenom LBWA-D modela. Posmatraće se proces voljne fluktuacije zaposlenih, odnosno napuštanje radne organizacije od strane zaposlenog. Važno naglasiti da se posmatraju kriterijumi pri promeni kompanije, a ne radnog mesta, jer je radno mesto uži pojam od radne organizacije i promena istog ne mora značiti promenu kompanije, već može biti i unutar nje.

Razmatrano je osam kriterijuma koji su označeni sledećim oznakama: $C_1$ - Dobri odnosi sa kolegama; $C_2$ – Slobodni dani za prekovremeni rad; $C_3$ - Odlazak na godišnji odmor po izboru; $C_4$ - Hibridno radno vreme; $C_5$ - Mogućnost za napredovanje; $C_6$ - Plaćeni kursevi; $C_7$ - Plaćeni sistematski pregled i $C_8$ – Plata. Tada, primenom LBWA-D algoritma možemo da odefinišemo težinske koeficijente prema sledećem:

*Korak 1.* Kao najuticajniji kriterijum izabran je kriterijum $C_8$.

*Korak 2*. Kriterijumi su grupisani na sledeće nivoe značajnosti: $S_1$ = {$C_1$, $C_2$, $C_5$, $C_8$}, $S_2$ = {$C_3$, $C_4$, $C_6$} i $S_3$ = {$C_7$}.

*Korak 3*. Na osnovu izraza (4), definisana je skala evaluacije koja obuhvata interval $I_{i_p} \in [0,4]$. Poređenja kriterijuma, po ekspertskim grupama G1 i G2, po nivoima značajnosti prikazana su u Tabeli 1.

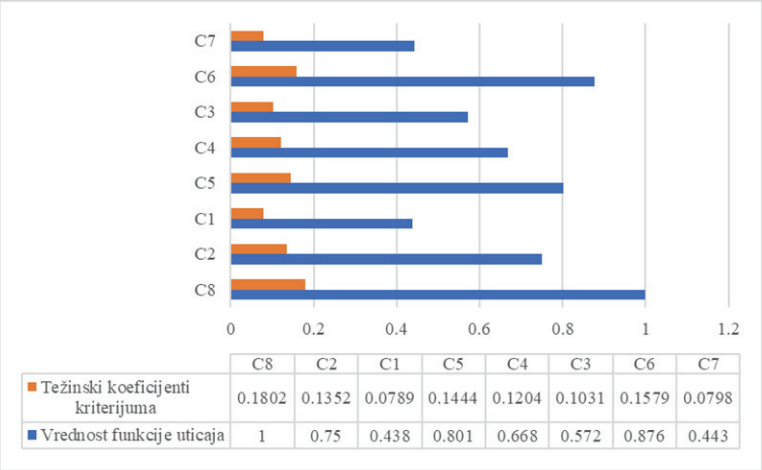
**Tabela 1:** Poređenja kriterijuma po nivoima značajnosti

| Kriterijumi | Nivoi | Grupa G1 | Grupa G2 |
|---|---|---|---|
| $C_1$ | Nivo 1 | $D_1$={(0.4,0.35),(0.5;1,0.35),(1,0.2)} | $D_2$={(0.4,0.65),(1.1,0.20)} |
| $C_2$ | Nivo 1 | $D_1$={(0.4,0.25),(0.4,0.75)} | $D_2$={(0.5,0.60),(0.6,0.40)} |
| $C_3$ | Nivo 2 | $D_1$={(1.6,0.20),(2,0.65),(2.5,0.2)} | $D_2$={(1.3,0.40),(1.8,0.55)} |
| $C_4$ | Nivo 2 | $D_1$={(1,0.30),(1;1.5,0.40),(1.5,0.25)} | $D_2$={(1,0.60),(1.7,0.35)} |
| $C_5$ | Nivo 1 | $D_1$={(2,0.25),(2;3,0.35),(3,0.40)} | $D_2$={(2,0.25),(3,0.75)} |
| $C_6$ | Nivo 2 | $D_1$={(1.8,0.6),(2.5;3,0.15),(3,0.20)} | $D_2$={(2,0.80),(3,0.20)} |
| $C_7$ | Nivo 3 | $D_1$={(3.2,0.30),(3.5,0.50),(4,0.20)} | $D_2$={(3.2,0.15),(3;4,0.80),(4,0.05)} |
| $C_8$ | Nivo 1 | $D_1$={(0,1)} | $D_2$={(0,1)} |

Primenom pravila za kombinaciju D brojeva, izraz (2), izvršena je sinteza neizvesnosti i dobijeni su jedinstveni D brojevi u okviru nivoa značajnosti kriterijuma.

*Korak 4*. U ovom istraživanju je za koeficijent elastičnosti usvojena je vrednost $r_0$=5. Koeficijent elastičnosti definisan je na osnovu uslova $(r_0 > r)$ koji postavljen u Koraku 4. Sagledavanjem vrednosti iz Tabele 1, možemo da zaključimo da je $r$=3, a pošto treba da bude zadovoljeno da je $r_0 > r$, usvojena je vrednost $r_0$=5.

*Koraci 5 i 6*. Primenom izraza (5) definisane su funkcije uticaja kriterijuma. Funkcije uticaja kriterijuma korišćene su za proračun finalnih vrednosti težinskih koeficijenata primenom izraza (7). Funkcije uticaja kriterijuma i težinski koeficjenti kriteirijuma prikazani su na Slici 2.



| | C8 | C2 | C1 | C5 | C4 | C3 | C6 | C7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ■ Težinski koeficijenti kriterijuma | 0.1802 | 0.1352 | 0.0789 | 0.1444 | 0.1204 | 0.1031 | 0.1579 | 0.0798 |
| ■ Vrednost funkcije uticaja | 1 | 0.75 | 0.438 | 0.801 | 0.668 | 0.572 | 0.876 | 0.443 |

**Slika 2:** Funkcije uticaja kriterijuma i težinski koeficjenti kriteirijuma

Na osnovu dobijenih rezultata, ključni kriterijum fluktuacije je Plata. Pokazalo se da su novčani benefiti važniji od nenovčanih prilikom voljnog napuštanja organizacije.

## 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljena je mogućnost primene DS teorije i D brojeva za obradu neizvesnosti u ekspertskim preferencijama. Primenom D brojeva predloženo je unapređenje LBWA metode i prikazana je mogućnost primene LBWA-D modela za definisanje težinskih koeficijenata kriterijuma. Predložena metodologija poseduje adekvatan alat za obradu neizvesnih informacija, pa se LBWA-D metoda može koristiti i u kombinaciji sa drugim višekriterijumskim modelima u oblasti odlučivanja. U budućim istraživanjima neophodno je usmeriti napore ka mogućnosti integracije D brojeva sa drugim teorijama neizvesnosti kao što su *fazi* skupovi i *neutrosophic* teorija. Time bi se dodatno objektivizirao način obrade informacija.

## LITERATURA

[1] Dempster, A.P., 1967. Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping. Ann. Math. Stat. 38 (2), 325–339.

[2] Deng, X., Hu Y., Deng, Y., Mahadevan, S. (2014a). Environmental impact assessmentbased on D numbers, Expert Systems with Applications 41 (2), 635–643.

[3] Deng, X., Hu, Y., Deng, Y. (2014b). Bridge condition assessment using D numbers, The Scientific World Journal, Article ID 358057, 11 pages, doi:10.1155/2014/358057.

[4] Denoeux, T. Smets, P. (2006). Classification using belief functions: relationship between case-based and model-based approaches, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part B-Cybernetics 36 (6), 1395–1406.

[5] Huang, S., Su, X., Hu, Y., Mahadevan, S., Deng, Y. (2014) A new decision making method by incomplete preferences based on evidence distance, Knowledge-Based Systems (56) (2014) 264–272.

[6] Ju, Y. Wang, A. (2012). Emergency alternative evaluation under group decision makers: A method of incorporating DS/AHP with extended TOPSIS, Expert Systems with Applications 39 (1), 1315–1323.

[7] Kang, B. Deng, Y. Sadiq, R. Mahadevan, S. (2012). Evidential cognitive maps, Knowledge-Based Systems, 35, 77–86.

[8] Sadiq, R. Kleiner, Y. Rajani, B. (2006). Estimating risk of contaminant intrusion in water distribution networks using Dempster–Shafer theory of evidence, Civil Engineering and Environmental Systems 23 (3), 129–141.

[9] Shafer, G., 1978. A mathematical theory of evidence. Technometrics, 20 (1), 242.

[10] Yao, S.. Guo, Y.-J Huang, W.-Q. (2010). An improved method of aggregation in DS/AHP for multi-criteria group decision-making based on distance measure, Control and Decision 25 (6), 894–898.

[11] Žižović, M., & Pamučar, D. (2019). New model for determining criteria weights: Level Based Weight Assessment (LBWA) model. Decision Making: Applications in Management and Engineering, 2(2), 126-137. https://doi.org/10.31181/dmame1902102z

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА САМООРГАНИЗУЈУЋИХ МАПА ЗА КЛАСТЕРОВАЊЕ СТУДЕНАТА ФАКУЛТЕТА ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

# SELF-ORGANIZING MAPS FOR CLUSTERING STUDENTS OF THE FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

КАТАРИНА ВЕЛИНОВ[1], ПАВЛЕ МИЛОШЕВИЋ[2], ИВАНА ДРАГОВИЋ[3]

[1] Универзитет у Београду – Факултет организационих наука, Београд, kv20225063@fon.bg.ac.rs
[2] Универзитет у Београду – Факултет организационих наука, Београд, pavle.milosevic@fon.bg.ac.rs
[3] Универзитет у Београду – Факултет организационих наука, Београд, ivana.dragovic@fon.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Праћење успешности студирања је од велике важности за даљи напредак у образовању. У овом раду је спроведено истраживање које анализира могућност примене Кохоненових самоорганизујућих мапа на образовни процес. Основни циљ рада је груписање студената према сличности како би се приступило детаљној анализи сваке групе и одредиле даље активности. Анализирани су подаци о положеним испитима за сваког студента тј. улазни атрибути како би се испитао њихов утицај на резултате кластеровања. Применом самоорганизујућих мапа идентификована су 4 кластера према трајању студија као најбитнијем атрибуту и на тај начин је извршена анализа дипломираних студената.*

***Кључне речи:*** *неуронске мреже, образовање, успешност студирања, кластеровање, Кохонен СОМ*

***Abstract:*** *Monitoring the success of studies is of great importance for further progress in education. In this paper, research was conducted that analyzes the possibility of applying Kohonen's self-organizing maps to the educational process. The main goal of the work is to group students according to similarity in order to approach a detailed analysis of each group and determine further activities. The data on the exams passed for each student were analyzed, i.e. input attributes to examine their impact on the clustering results. Using self-organizing maps, 4 clusters were identified according to the duration of studies as the most important attribute, and in this way, the analysis of graduated students was made.*

***Keywords:*** *neural networks, education, study success, clustering, Kohonen SOM*

---

## 1. УВОД

Значај примене модерних техника, метода и алгоритама у образовању је истакнут у последњих пар година. То потврђује студија рађена на основу 4519 публикација од 2000. до 2019. године [5] која истиче да академске заједнице имају све већу заинтересованост за коришћење вештачке интелигенције у образовне сврхе. Главне истраживачке теме укључују интелигентне системе подучавања за специјално образовање, обраду природног језика за учење језика, едукативне роботе за АИ образовање, рударење образовних података за предвиђање успеха, системе препорука за персонализовано учење и неуронске мреже за евалуацију наставе [5].

Анализа успешности студирања је од великог значаја за даље унапређење образовног процеса. У овом раду се анализирају могућности примене посебне врсте вештачких неуронских мрежа, такозваних Кохоненових самоорганизујућих мапа (СОМ) на образовни процес. Скуп података који је коришћен у овом раду садржи податке о студентима и испитима. Анализирани су атрибути који највише утичу на успех студената, као што су просек, трајање студија, пол, катедра на којој је одбрањен дипломски рад, смер и оцене у првој години студија. На основу извршених анализа, урађено је груписање студената који су завршили Факултет организационих наука у Београду и направљени су кластери како би се одредиле специфичности сваке групе и наставила даља анализа према групи.

Рад је конципиран тако да је након кратког увода, дат преглед литературе и теоријске основе, затим је описана коришћена база података. У наставку је дата обрада и даља анализа података, примена посебне врсте неуронских мрежа, Кохоненових самоорганизујућих мапа за кластеровање над тим подацима. Након што је представљен експеримент и добијени резултати, дат је и закључак спроведеног истраживања.

## 2. ПРИМЕНА НЕУРОНСКИХ МРЕЖА У ОБРАЗОВАЊУ

Са брзим технолошким напретком, вештачке неуронске мреже су нашле примену у многим областима. За потребе овог рада, посебно је анализирана њихова примена у високошколским установама за предвиђање студентског учинка. У [3] дата је анализа примене неуронских мрежа у образовању, која је показала да је број истраживања у овој области значајно увећан последњих година. Такође, показано је да су вештачке неуронске мреже дале највиши ниво тачности у 75% анализираних радова, као и то да постоје нове методе које се могу применити за даље анализе у овој области. Коришћењем неуронских мрежа може се прецизно предвидети и идентификовати успех студената. Такође, оне се могу применити за идентификовање студената са слабим успехом, односно ризичних студената.

Многа истраживања спроведена на ову тему показују веома добре резултате у предвиђању успеха студената коришћењем неуронских мрежа. Показано је да тачност предвиђања може ићи до 98%, што значајно надмашује следећи коришћени алгоритам, стабло одлучивања (91%) [11]. У [2], коришћене су оцене добијене на заједничким предметима у првој години, и уз примену алгоритма заснованог на неуронским мрежама, студенти су вођени да бирају предмете за даље школовање према својим склоностима и способностима. У [6], алгоритми машинског учења су примењени за предвиђање слабог успеха студената, који могу довести до напуштања студирања или одлагања дипломирања. Оваква истраживања помажу институцијама да развију стратешке програме за побољшање успеха студената и омогућавање дипломирања на време. У наведеном истраживању је направљен модел неуронске мреже за предвиђање просека студената користећи личне податке, академске информације и место становања. Коришћењем стандардних критеријума за мерење тачности модела, добијено је да модел предвиђа успех студената са тачношћу 73.68% и тачност од 66.67% за предвиђање студената са лошим успехом [6]. У [7], коришћењем трослојне вештачке неуронске мреже извршена је класификација студената према предметима на студијском програму за информационо комуникационе технологије. Добијен је модел са тачношћу 96%, што се подудара и са другим спроведеним истраживањима [7]. Добијено је да су најбитнији улазни подаци за класификацију пол, старост, искуство у коришћењу рачунара, ниво вештина информационих и комуникационих технологија, учесталост коришћења, ниво вештина коришћења рачунарских апликација, итд. Истраживање [4] је пак показало да су за предвиђање учинка студената најбитније карактеристике као што су брачни статус родитеља и њихов ниво образовања, подршка родитеља у учењу, додатно учење и слободно време, претходне оцене, итд. У раду [1] су истраживане препреке електронског учења из перспективе студената основних студија применом вештачких неуронских мрежа.

У раду [10] је предложен модел дубоке неуронске мреже (енгл. *deep neural network*) за предвиђање успеха студената и идентификацију студената који имају веће шансе за неуспех. Резултат је показао да овакав модел може радити чак и боље са мањом количином података, ако имамо дубоко познавање скупа података и квалитетно подешен модел. Предложен модел је достигао тачност од 85,4%, а са већим скупом података може постићи и већу тачност и надмашити друге алгоритме машинског учења [10].

С друге стране, коришћење самоорганизујућих мапа није било предмет посебног истраживања научне заједнице. Постоји невелики број радова који се бави овом темом, међу којима се истиче [12], у коме је предложен модел за анализу и предвиђање ефикасности и успеха студената на електронским курсевима.

## 3. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ

Неуронска мрежа је паралелни дистрибуирани процесор који има природну способност чувања и коришћења искуственог знања. Сличност са мозгом се огледа кроз две особине: мрежа стиче знање кроз процес учења и знање се чува у везама између неурона [9]. Вештачке неуронске мреже су направљене по узору на биолошке неуронске мреже. Оне не достижу комплексност мозга, али имају две кључне сличности. И биолошке и вештачке неуронске мреже се састоје од неурона који су веома добро повезани међусобно, а везе између тих неурона одређују функцију мреже [8]. Сложеност неуронске мреже је одређена бројем неурона. Пре саме употребе обучене неуронске мреже, треба анализирати да ли је обука била успешна, па тако на основу области примене разликујемо следеће технике [8]: препознавање образаца, кластеровање и предвиђање.

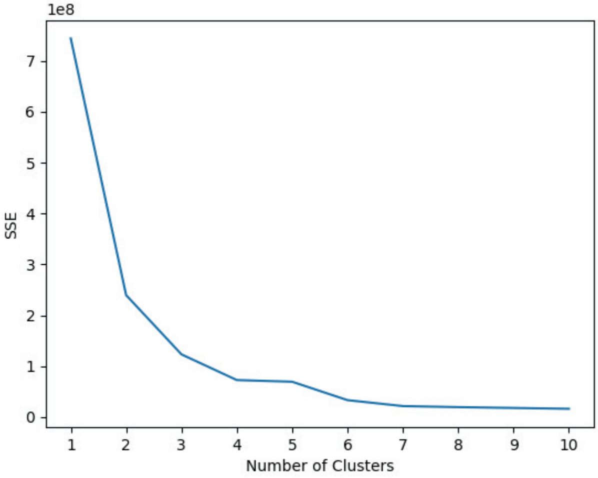
Кохонен је предложио поједностављене самоорганизоване мапе које представљају најпопуларнију неуронску мрежу за кластеровање [8]. СОМ уз помоћ исте процедуре коју користи конкурентски слој, одређује победнички неурон, а затим и векторе тежине за суседе победничког неурона који се налазе у одређеном радијусу [8]. СОМ прво ради обуку, а затим мапирање. Обука користи скуп улазних података да генерише нижедимензионални приказ улазних података. Затим се ради мапирање које класификује додатне улазне податке користећи генерисану мапу. Циљ обуке је да се улазни простор са више димензија представи као простор са две димензије. Разликује се од других типова неуронских мрежа јер чува информацију о тополошким својствима улаза на основу којих врши груписање. Главне предности ових мрежа су што не захтевају никакве претпоставке везане за податке и имају јединствени атрибут који омогућава визуелизацију података у много димензија, што олакшава анализу.

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТ

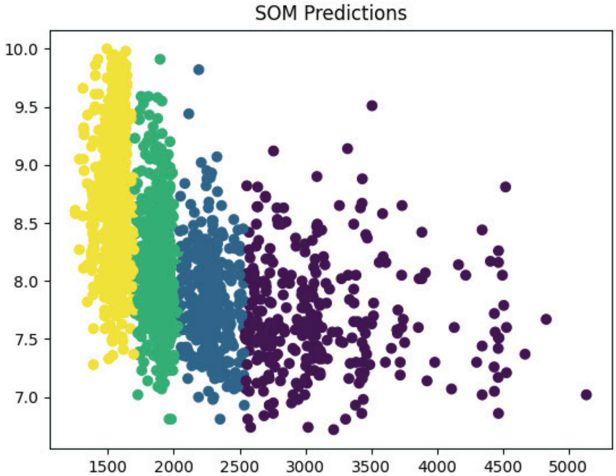
За истраживање у овом раду је коришћена база података добијена из студентске службе Факултета организационих наука у Београду, која садржи податке о студентима и њиховим положеним испитима за студенте који су завршили факултет. Као најбитнији, одабрани су следећи атрибути: просечна оцена, трајање студија, пол, катедра на којој је одбрањен дипломски рад, смер и оцене остварене у првој години студија.

За вршење експеримента су анализирани подаци о 2262 дипломирана студента. Из оригиналног скупа су издвојени само студенти који су уписали студије на стандардан начин, са ранг листе. Такође су избачени атрибути са високом корелацијом (година уписа студија и генерација, општина становања и општина средње школе) и сви подаци су пресликани у нумеричке вредности. Анализиране су корелације и осталих атрибута и ниједан пар нема изразито велику корелацију (већу од 0.6 по апсолутној вредности). Извршено је и парсирање података о положеним испитима како би се добиле оцене по предметима из прве године студија, за сваког студента. Затим је на основу датума дипломирања (завршетка студија) и датума првог уписа студија, изведен атрибут који се односи на период трајање студија у данима. Експерименти су рађени у програмском језику *Python*.

Помоћу лакат методе (енгл. *elbow method*) и мерењем вредности коефицијента сенке (енгл. *siluette score*) одређен је оптималан број кластера и естимиран квалитет урађеног кластеровања. Применом ове методе утврђено је да се инстанце успешно могу кластеровати у 3 и 4 кластера, али да је оптимално кластеровати у 3 кластера. Спроведени су експерименти над различитим параметрима самоорганизујућих мапа: 3x1; 2x2 и 4x1 модел, као и са и без разматрања атрибута пол и смер. Уочено је да пол и смер немају значајан утицај на алгоритам за кластере, те је настављена анализа студената кроз укупно описаних 15 атрибута: пол (A1), смер (A2), катедра (A3), просек (A4), трајање студија у данима (A5) и оцене остварене на предметима у првој години студија (А6-А15). Мерењем коефицијента сенке за сваки наведени модел самоорганизујуће мапе, највећи коефицијент је измерен за модел 4x1 и он износи 0.654, што значи да су за овај модел кластери добро раздвојени. На основу ових резултата, за даљу анализу је коришћен оптималан број кластера 4 и модел самоорганизујуће мапе 4x1. На Сликама 1. и 2. приказан је резултат лакат методе и кластера студената, приказаних према трајању студија као најбитнијем критеријуму поделе.

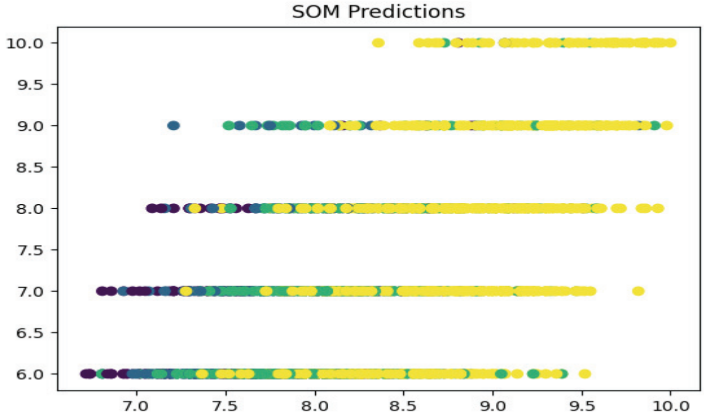


***Слика 1**: Лакат метода*



***Слика 2:** СОМ резултати кластеровања*

Са Слике 2 се види да су применом самоорганизујућих мапа идентификована 4 редно повезана неурона према трајању студија као најбитнијем атрибуту за поделу. На хоризонталној оси је приказано трајање студија у данима, док је на вертикалној приказан укупан просек оцена дипломираних студената. Значајни су прикази кластеровање по оствареној оцени на неком предмету и укупном просеку, али су суштински међусобно слични. Међутим, посебно се издваја предмет Математика 1. На Слици 3. је дат приказ укупног оствареног просека у односу на оцену из овог предмета, при чему боје кластера одговарају онима са Слике 2.



***Слика 3:*** *Укапан просек у односу на оцену предмета*

У Табели 1. је приказано колико инстанци полазног скупа припада ком кластеру, а у Табели 2. су дати центроиди кластера у односу на све инстанце.

**Табела 1:** Број студената по кластеру

| **Кластер** | **Број студената по кластеру** |
|---|---|
| 1 – Студенти који су завршили студије у најкраћем року | 1061 |
| 2 – Студенти који су завршили студије за средње време | 546 |
| 3 – Студенти који су мало каснили у студирању | 351 |
| 4 – Студенти који су студирали дуго | 304 |
| Укупно студената: | 2262 |

**Табела 2:** Центроиди кластера

| **Кл.** | **A1** | **A2** | **A3** | **A4** | **A5** | **A6** | **A7** | **A8** | **A9** | **A10** | **A11** | **A12** | **A13** | **A14** | **A15** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **0.64** | 1.37 | **8.46** | **8.72** | **1599** | **8.28** | **8.37** | **7.72** | **7.36** | **8.72** | **8.39** | **8.76** | **9.13** | **8.45** | **8.48** |
| 2 | 0.61 | 1.41 | 8.28 | 8.33 | 1803 | 7.92 | 8.04 | 7.34 | 7.05 | 8.32 | 8.07 | 8.30 | 8.77 | 8.07 | 8.07 |
| 3 | 0.55 | 1.40 | 8.25 | 7.83 | 2266 | 7.27 | 7.73 | 6.80 | 6.66 | 7.63 | 7.88 | 7.69 | 8.49 | 7.67 | 7.59 |
| 4 | 0.53 | **1.47** | 8.21 | 7.76 | 2811 | 7.28 | 7.74 | 6.79 | 6.62 | 7.44 | 7.97 | 7.59 | 8.78 | 7.65 | 7.70 |

## 5. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

На основу анализа добијених резултата може се утврдити да првом кластеру припадају студенти који су завршили студије у најкраћем могућем року (A5) и да они имају и најбоље оцене на предметима у првој години (A6-A15), као и најбољу укупну просечну оцену (A4). Овом кластеру припада највише студената, док последњем четвртом кластеру припада најмањи број студената. Четвртом кластеру припадају студенти који су најдуже студирали, а они имају и најниже оцене и укупну просечну оцену. Што се тиче другог и трећег кластера, ту припадају студенти који имају средње и ниске оцене и просек, као и средње трајање студија. Атрибут пол (А1) нема велики утицај на поделу, види се да је женски пол мало истакнутији у првом и другом кластеру. Док атрибути који се односе на смер (А2) и катедру на којој је одбрањен дипломски рад (А3), имају врло мали утицај.

Из Табеле 2. се види да оцене остварене у првој години студија имају висок утицај на припадност студента кластеру. Тако ће студенти са високим оценама на првој години припадати првом кластеру, односно велики број њих ће завршити студије у најбржем могућем року. Велики број студената са ниским оценама у првој години ће припадати последњем, четвртом кластеру, односно имаће кашњење у студирању. Уколико посматрамо предмете појединачно, можемо да видимо да се најниже оцене добијају из предмета А9 (Математика 2) и А8 (Математика 1), док се највише оцене добијају из предмета А13 (Производни системи), а затим А12 (Основи организације) и А10 (Менаџмент). Можемо такође да закључимо да кластери 3 и 4 (студенти који су каснили у студирању) имају сличне оцене у првој години студија. Закључак је да оцене у првој години студија могу бити изузетно добар предиктор трајања студирања појединачног студента.

## 6. ЗАКЉУЧАК

У раду је извршена анализа примене посебне врсте вештачких неуронских мрежа, Кохоненових самоорганизујућих мапа како би се извршило груписање студената Факултета организационих наука у Београду. Студенти су груписани према одабраним атрибутима од којих се највише истучу трајање студирања и оцене студената на првој години студија. Други циљ овог истраживања је био да се идентификују фактори који највише утичу на успех студената, што је од велике важности и за појединца и за друштво, али и саму установу, односно факултет и даљи напредак образовног система. Студенти се могу поделити у сличне групе, кластере према различитим критеријумима, а затим се анализом тих група долази до фактора који доприносе бољем успеху студената.

У овом раду је извршено груписање студената у кластере и добијене су 4 групе према времену трајања студија као најбитнијој подели. Закључено је да првом кластеру припадају студенти који су завршили испите у најкраћем могућем року и да они имају и најбољи успех. Док четвртом кластеру припадају студенти који су дуго студирали и они имају и најнижи просек, што је и очекивано јер оцена тим студентима није пресудна, битно је само да положе испите. Са друге стране, студенти у првом кластеру имају највећи просек, што је такође очекивано јер су они полагали испите одмах након наставе, док је „свеже“ знање, а и ови студенти могу добити највеће погодности кроз колоквијуме и предрокове.

Потребно је истражити нове методе које могу допринети добијању додатних информација и знања о карактеристикама модела студента. Један од праваца даљих истраживања се односи на аутоматизацију процеса прикупљања података о студентима, интеграцију различитих извора података о карактеристикама студената и аутоматско класификовање студената у одговарајуће групе према унапред дефинисаним карактеристикама. Такође се може наставити даља анализа по добијеним групама кластера и идентификовати најутицајнији фактори. У будућим истраживањима се може урадити анализа и за појединачне испите и применити неке друге методе кластеровања. Такође се може урадити предвиђање трајања студија на основу оствареног просека у првој години студија.

**Захвалница:** Истраживање је финансирано уз подршку Факултета организационих наука, Универзитета у Београду.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Abueita, J. D., Jubran, S. M., & Abueita, S. D. (2023). Predicting undergraduate students' perspectives on the E-learning obstacles with artificial neural networks. Perspectives of Science & Education, 61(1), 589-602.

[2] Ahajjam, T., Moutaib, M., Aissa, H., Azrour, M., Farhaoui, Y., & Fattah, M. (2022). Predicting Students' Final Performance Using Artificial Neural Networks. Big Data Mining and Analytics, 5(4), 294-301.

[3] Bilal Zorić, A., Miloloža, I., & Bach, M. P. (2022). Neural networks for student performance in higher education: preliminary bibliometric analysis. In Interdisciplinary Management Research XVIII (pp. 762-781).

[4] Bukhari, M. M., Ullah, S. S., Uddin, M., Hussain, S., Abdelhaq, M., & Alsaqour, R. (2022). An Intelligent Model for Predicting the Students' Performance with Backpropagation Neural Network Algorithm Using Regularization Approach. Human-centric Computing and Information Sciences, 12(44), 1-21.

[5] Chen, X., Zou, D., Xie, H., Cheng, G., & Liu, C. (2022). Two Decades of Artificial Intelligence in Education: Contributors, Collaborations, Research Topics, Challenges, and Future Directions. Educational Technology & Society, 25(1), 28-47.

[6] Dash, P. (2023). Student Academic Performance Prediction using Artificial Neural Networks: A Case Study. International Journal of Computer Applications, 148(48), 24-29.

[7] Demiralay, R., Akdenizli, I., & Boztoprak, H. (2017). Estimating of student success with artificial neural networks. New Trends and Issues Proceedings on Humanities and Social Sciences, 7, 21-27.

[8] Hagan, M., Demuth, H., Beale, M., & DeJesus O. (2014). Neural Network Design (2nd ed.). Martin Hagan.

[9] Haykin S. (1999). Neural Networks (2nd ed.). Prentice Hall International.

[10] Lokhande, D. B., Chavan, T. A., & Patil, D. P. (2022). Deep neural network in prediction of student performance. Gradiva Review Journal, 8(12), 811-816.

[11] Olaniyan, O. M., Oloyede, A. O., Aremu, I. A., Babatunde, R. S., & Adeyemi B. M. (2021). Predicting Student Academic Performance Using Artificial Neural Network. Journal of Research and Review in Science, 8, 1-7.

[12] Sinitsyn, E., Tolmachev, A., Larionova, V., & Tolmachev, D. (2020). Success predicting for students of online courses using neural networks. In 14th International Technology, Education and Development Conference (pp. 6547-6554).

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ОДРЕЂИВАЊЕ ТЕЖИНСКИХ КОЕФИЦИЈЕНАТА КРИТЕРИЈУМА МЕТОД ПРОЦЕНЕ – ИДЕАЛНЕ ВРЕДНОСТИ МЕЊАЈУ ОЧЕКИВАНЕ

# DETRMINING CRITERIA WEIGHT COEFFICIENTS ASSESSMENT METHOD – IDEALLY CHANGE EXPECTED

МАЛИША Р. ЖИЖОВИЋ[1], ДАНИЦА ФАТИЋ [1], ДРАГАН ПАМУЧАР [2], МИОДРАГ М. ЖИЖОВИЋ[3]

[1] Факултет техничких наука, Чачак, zizovic@gmail.com, danicafatic@gmail.com
[2] Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, Београд, dpamucar@gmail.com
[3] Економски институт, Београд, miodragz@gmail.com

***Резиме:*** *У раду је представљен нови модел за одређивање тежинских коефицијената критеријума у вишекритеријумској анализи. Модел је базиран на дефинисању идеалне алтернативе и очекиване алтернативе и одређивању колико хипотетичка алтернатива има предност у односу на очекивану алтернативу по сваком критеријуму. На основу дефинисаних вредности врши се прорачун тежинских коефицијената критеријума.*

***Кључне речи:*** *Алтернативе са идеалним вредностима, алтернативе са очекиваним вредностима, тежински коефицијенти критеријума.*

***Abstract:*** *The paper presents a new model for the determination of weighting coefficients of criteria in multi-criteria analysis. The model is based on defining the ideal alternative and the expected alternative and determining how much the hypothetical alternative has an advantage over the expected alternative according to each criterion. Based on the defined values, the weighting coefficients of the criteria are calculated.*

***Keywords:*** *Alternatives with ideal values, alternatives with expected values, weight coefficients of criteria*

## 1. Увод

Одређивање тежина критеријума је један од кључних проблема који се јавља у моделима вишекритеријумске анализе. Методологије за одређивање тежина критеријума већ дуги низ година предмет су интензивних истраживања и научних расправа. У основи већина приступа одређивању тежина критеријума се може поделити на субјективне и објективне. Субјективни приступи су засновани на одређивању тежина критеријума на основу информације добијене од доносиоца одлуке или од експерата укључених у процес одлучивања. Субјективни приступи одражавају субјективно мишљење и интуицију доносиоца одлуке и самим тим доносилац одлуке утиче на резултат процеса одлучивања. Супротно субјективним приступима, објективни приступи засновани су на одређивању тежина критеријума на основу информација које су садржане у почетној матрици одлучивања. Објективни приступи занемарују мишљење доносиоца одлуке.

У последњих неколико година развијено је неколико нових метода које мање или више успешно решавају овај проблем. О овим методама се може видети у раду [1]. У раду [1] дат је преглед неколико нових метода за одређивање тежинских коефицијената међу које спадају: Full Consistency Method (FUCOM) [3], Level Based Weight Assessment (LBWA) [4] Non-Decreasing Series at Criteria Significance Levels (NDSL) [5]. Исто тако у многим радовима се анализирају предности и недостаци неких од старијих метода за одређивање тежинских елемената, нпр [2],[6].

У овом раду приказана је субјективна метода за одређивање тежинских коефицијената. Субјективни приступи одражавају субјективно мишљење и интуицију доносиоца одлуке. Таквим приступом тежине критеријума се одређују на основу информације добијене од доносиоца одлуке или од експерата који су укључени у процес одлучивања. Метода која је представљена у овом раду специфична је по томе што се битно ослања на мишљење доносиоца одлуке о постављеном задатку. Предложеним приступом може се доћи до резултата и пре строгог формулисања вишекритеријумског проблема. У наредном делу представљена је идеја математичког апарата предложене методе.

## 2. Модел за одређивање тежинских коефицијената критеријума

Изворни проблем вишекритеријумске анализе можемо да прикажемо у облику иницијалне матрице одлучивања која садржи *m* врста (алтернатива) и *n* колона (критеријума). Претпоставимо да су у иницијалној матрици критеријуми поређани од најјачег до најслабијег.

**Табела 1.** Иницијална матрица одлучивања

| | $C_1$ | $C_2$ | … | $C_n$ |
|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | $a_{11}$ | $a_{12}$ | … | $a_{1n}$ |
| $A_2$ | $a_{21}$ | $a_{22}$ | … | $a_{2n}$ |
| … | … | … | … | |
| $A_m$ | $a_{m1}$ | $a_{m2}$ | … | $a_{mn}$ |

Где $a_{ij}$ означава број као квантитативну вредност коју алтернатива $A_i$ узима по критеријуму $C_j$ или квалитативну оцену алтернативе $A_i$ по критеријуму $C_j$. Критеријуми при томе могу бити максимизирајућег типа (боља вредност је пожељнија) или минимизирајућег типа (мања вредност је пожељнија). На основу претходно усвојених претпоставки да су критеријуми поређани по јачини, тада њихови тежински коефицијенти $W_1, W_2, ..., W_n$ треба да испуњавају услов да је $W_1 \geq W_2 \geq ... \geq W_n > 0$, уз додатни услов да је $\sum_{j=1}^{n} W_j = 1$.

Тада нову методу за одређивање тежинских коефицијената можемо да представимо следећим корацима:

**Корак 1.** Доносилац одлуке дефинише нормални очекивани резултат вишекритеријумске анализе кроз представљање очекиване алтернативе $A_N$:

$A_N(a_{N1}, a_{N2}, ..., a_{Nn})$

Где $a_{Nj}$ ($j$=1,2,…,$n$) означава очекивану (нормалну) вредност по критеријуму $C_j (j = 1, 2, ..., n)$.

**Корак 2.** Доносилац одлуке дефинише идеални резултат вишекритеријумске анализе кроз дефинисање идеалне алтернативе $A_I$:

$A_I(a_{I1}, a_{I2}, ..., a_{In})$

где $a_{Ij}$ ($j$=1,2,…,$n$) означава идеалну вредност по критеријуму $C_j (j = 1, 2, ..., n)$. Идеална очекивана вредност по критеријуму $C_j (j = 1, 2, ..., n)$ дефинише се на основу доступног скупа вредности критеријума.

**Корак 3.** За свако $j = 1, 2, ..., n$ дефинише се хипотетичка алтернатива

$A_{NIj}(a_{N1}, ..., a_{N(j-1)}, a_{Ii}, a_{N(j+1)}, ..., a_{Nn})$

у којој се налазе вредности из (нормалне) очекиване алтернативе на местима $1, ..., j-1, j+1, ..., n$, док се на месту *j* налази идеална вредност по критеријуму $C_j (j = 1, 2, ..., n)$.

**Корак 4.** За свако $j = 1,2,...,n$ доносилац одлуке одређује број $\theta_j$ који показује колико пута је $A_{NIj}$ боља од $A_N$ . Због чињенице да су критеријуми поређани по јачини испуњен је услов:

$$\theta_1 \geq \theta_2 \geq ... \geq \theta_n > 1$$

**Корак 5.** Претпоставимо да су оцене доносиоца одлуке о вредностима хипотетичких алтернатива пропорционалне одговарајућим тежинским коефицијентима за критеријуме

$$\theta_j = \lambda W_j, \ j = 1,2,...,n$$

Па сабирањем добијамо формулу

$$\sum_{j=1}^{n} \theta_j = \lambda \sum_{j=1}^{n} W_j = \lambda$$

Односно из (1) добијамо

$$W_j = \frac{\theta_j}{\sum_{i=1}^{n} \theta_i}, \ \ j = 1,...,n$$

## 3. Примена модела за одређивање тежинских коефицијената критеријума

Примена приказаног модела биће приказана кроз наредни пример. Туриста бира један од неколико аранжмана за одмор у предсезони. Критеријуми на основу којих туриста доноси одлуку су:

$C_1$-цена аранжмана

$C_2$-културни и забавни живот

$C_3$-услови за путовање

$C_4$-удаљеност од вредних знаменитости и цена посете знаменитостима

$C_5$-услови за купање на плажама

За приказ вредности алтернатива по приказаним критеријумима коришћена је деветостепена Сатијева скала 1-9. Понуде у овом примеру неће бити разматране. Прво питање на које доносилац одлуке (туриста) треба да да одговор је које су оцене за њега нормалне односно очекиване. Претпоставимо да је одговор:

$A_n(6,7,7,6,6)$

Потом следи питање, које су оцене за њега идеалне, са одговором

$A_I(9,9,9,9,8)$

Даље претпоставимо да наш доносилац оценио хипотетичке алтернативе:

$A_{NI1}(9,7,7,6,6) \ \ \theta_1 = 4{,}6$

$A_{NI2}(6,9,7,6,6) \ \ \theta_2 = 3{,}2$

$A_{NI3}(6,7,9,6,6) \ \ \theta_3 = 2{,}5$

$A_{NI4}(6,7,7,9,6) \ \ \theta_4 = 1{,}5$

$A_{NI5}(6,7,7,6,8) \ \ \theta_5 = 1{,}3$

Тада на основу приказане методологије следи да је:

$$\sum_{i=1}^{5} \theta_i = 13{,}1$$

И затим

$$W_1 = \frac{4{,}6}{13{,}1} = 0{,}3512$$

$$W_2 = \frac{3{,}2}{13{,}1} = 0{,}2443$$

$$W_3 = \frac{2,5}{13,1} = 0,1908$$

$$W_4 = \frac{1,5}{13,1} = 0,1115$$

$$W_5 = \frac{1,3}{13,1} = 0,0992$$

У наредном делу приказано је тумачење одлука хипотетичког доносиоца одлуке и тумачење бројева у $A_N$ и $A_I$. Наш доносилац одлуке је пензионер, интелектуалац из средње класе, који има пензију која је изнад просека и живи од ње. На летовање одлази у предсезони или у постсезони.

По критеријуму $C_1$:

6 у $A_N$ значи да он очекује да ће се за овај туристички аранжман издвојити еквивалент од 1,5 до 2 своје пензије.

9 у $A_I$ значи да може користити овај аранжман за мало више од половине једне своје пензије.

По критеријуму $C_2$:

7 у $A_N$ значи да ће у оквиру хотелског комплекса имати на располагању интернет, телевизију, шопинг центар у близини.

9 у $A_I$ значи да ће имати поред већ наведеног и разне културне и забавне манифестације сваког дана за време трајања аранжмана.

По критеријуму $C_3$:

7 у $A_N$ значи да он очекује авионски превоз на дестинацију или удобан аутобуски превоз на дестинацију од око 10 до 15 сати.

9 у $A_I$ очекује авионски превоз на дестинацију са обавезом да на аеродрому не буде пре седам сати ујутру у да у повратку на аеродрому не буде после три сата поподне а ако је аутобуски превоз да не траје дуже од 8 сати.

По критеријуму $C_4$:

6 у $A_N$ значи да он очекује да постоје историјска места или природне знаменитости које се могу посетити у временском периоду између доручка и ручка, ручка и вечере као и постојање стаза за шетњу.

9 у $A_I$ значи да поред већ наведеног постоје и организовани излети до појединих важних места у оквиру аранжмана у трајању између доручка и вечере који се користе у случају када дани нису подобни за купање (а таквих дана обично има у предсезони) и који имају веома малу доплату за превоз.

По критеријуму $C_5$:

6 у $A_N$ значи да туриста очекује, поред базена у хотелу, уређену и одржавану плажу недалеко од хотела.

8 у $A_I$ значи да туриста очекује, поред већ наведеног и уређену и одржавану песковиту плажу недалеко од хотела.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Преглед литературе и анализа до сада у литератури присутних модела за одређивање тежинских коефицијената критеријума јасно указују на потребу за развој новог кредибилног модела за одређивање тежинских коефицијената критеријума. Зато је у овом раду приказан нови модел, који се одликује једноставним и рационалним математичким алгоритмом. Резултати овог истраживања показали су да предложени модел омогућава добијање кредибилних и поузданих тежинских коефицијената који доприносе рационалном расуђивању, а самим тим и добијању кредибилних резултата приликом доношења одлука. Такође, из предложеног се види да се до резултата долази доста једноставно, на основу мишљења доносиоца одлуке. Сам поступак је доста једноставан и омогућава доносиоцу одлуке лаке корекције крајних резултата ако он процени да су исте потребне што у многим методама налажења тежинских коефицијената то није могуће, бар није могуће једноставно.

У циљу приближавања корисницима и ескплоатације свих предности модела намеће се потреба за израду и имплементацију софтвера. Један од праваца будућих истраживања треба да буде усмерен и у правцу проширења алгоритма за примену у групном доношењу одлука. Такође, један од праваца будућих истраживања треба да буде проширење модела применом различитих теорија неизвесности. Имплементација модлеа у неизвесном окружењу омогућиће обраду експертских преференција, чак и у условима када су информације о разматраном проблему делимично доступне или чак веома мало познате. Тиме би се омогућило објективније изражавање преференција доносиоца одлуке уз уважавање субјективности и недостатка информација о појединим појавама.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Ayan, B., Abacioglu, S. and Basilio, M.P. (2023). A comprehensive Review of the Novel Weighting Methods for Multi Criteria Decision Making. *Information 2023*, 14(5), 285; https://doi.org/10.3390/info14050285.

[2] Žižović, M., Janjić, M., Damljanović, N.(2022). Algorithm for generalized entropy method Mathematics, its applications and History. *Narosa Publishing House New Delhi, Chennai Mumbai Kolkata*, 51.

[3] Pamučar, D., Stević, Ž., Sremac, S.(2018). A new model for determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models : Full consistency Method (FUCOM). *Symmetry,* 10, 393.

[4] Žižović, M., Pamučar, D.(2019). New model for determining criteria weights : Level Based Weight Assessment (LBWA) model. *Decision Making : Applications in Management and Engineering* 2(2), 126-137.

[5] Žižović, M., Pamučar, D., Ćirović, G., Žižović, M.M., Miljković, B. (2020). A Model for Determining Weight Coefficients by Forming a Non-Decreasing Series at Criteria Significance Levels (NDSL). Mathematics, 8(5), 745

[6] Žižović, M., Miljković, B., Marinković, D. (2020). Objective methods for determining criteria Weight coefficients A modification of the CRITICmethod. *Decision Making Apll. In Management and Eng.*, 3(2), 149-161.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ДУБОКО УЧЕЊЕ ЗА ПРЕДВИЂАЊЕ ФИНАНСИЈСКИХ ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА

# WHEN FINANCE MEETS DEEP LEARNING

МИЛИЦА ЗУКАНОВИЋ[1], АНА ПОЛЕДИЦА[2]

[1] Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, milica.zukanovic@fon.bg.ac.rs
[2] Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, ana.poledica@fon.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Предвиђање финансијских временских серија је најактуелнија истраживачка тема када је реч о примени рачунарске интелигенције у финансијама. Утицај великог броја фактора на тржишну динамику као и њена комплексна природа довели су до све веће примене напреднијих модела за предвиђање попут неуронских мрежа, поред већ традиционално примењиваних линеарних и нелинеарних техника. Последњих година, присутан је растући тренд у примени дубоког учења у различитим доменима, а посебно у домену финансијских временских серија. Основни циљ ове студије је да кроз систематски преглед релевантних научних радова током претходних 18 година (2005-2023) анализира примену модела дубоког учења у области финансијских временских серија. Радови су груписани према доменима и коришћеним моделима.*

***Кључне речи:*** *дубоко учење, финансијске временске серије, предвиђање, рачунарска интелигенција.*

***Abstract:*** *Financial time series forecasting is the most attractive research topic when it comes to the application of computational intelligence in finance. The influence of a large number of factors on market dynamics, as well as its complex nature, have led to the increasing use of more sophisticated forecasting models such as neural networks, in addition to the traditionally applied linear and non-linear techniques. In recent years, there has been a growing trend in the application of deep learning in various domains, especially in the domain of financial time series. The main goal of this study is to analyse the application of deep learning models in the field of financial time series through a systematic review of relevant scientific papers during the previous 18 years (2005-2023). Papers are grouped according to domains and models.*

***Keywords:*** *deep learning, financial time series, forecasting, computational intelligence.*

---

## 1. УВОД

Анализа и предвиђање кретања тржишта акција је значајна тема за инвеститоре и за истраживаче. Од почетка двадесетог века, проучавани су модели предвиђања и спроведена су бројна истраживања о предвиђању финансијских временских серија користећи разноврсне статистичке и технике засноване на рачунарској интелигенцији [5, 29, 32].

Конвенционалне методе, као што су АРИМА [3, 4] ослањају се на историјске податке о ценама приликом предвиђања кретања на тржишту. Приоритет ових модела јесте смањење стохастичности и уочавање конзистентних образаца. Политички и економски фактори, понашање инвеститора, финансијски извештаји и други утицаји који се често не могу прецизно описати, значајно делују на динамику тржишта. У последње време, са развојем друштвених мрежа и обрадом природних језика, мноштво података се користи из медијских вести и објава за успешније предвиђање. Поред примене класичних “плитких” неуронских мрежа, велика количина сложених података из различитих извора, као и различите природе, наводи даља истраживања на дубоке неуронске мреже.

Дубоко учење се примењује у области компјутерске визије, обради природног језика и аудио-визуелном препознавању и његов успех је изазвао интересовање научно-академске заједнице за шири опсег примене. Иако је развијен за домен рачунарских наука, примена дубоког учења допрла је у различите области попут медицине, физике, астрономије и финансија. Предвиђање финансијских временских серија помоћу дубоког учења добило је пажњу због своје способности да управља великим скуповима података и мапира податке са већом прецизношћу [4].

У овом раду дат је преглед литературе и анализа примене различитих техника дубоког учења код финансијских временских серија. Истраживање је вршено по угледу на рад [38]. Поређени су радови на основу примењених техника, области финансијских серија, тржишта акција, врсте часописа и конференција где су радови објављени.

Рад је организован на следећи начин. У другом поглављу описани су основни концепти дубоког учења. Затим је представљен преглед литературе са акцентом на предвиђање различитих финансијских временских серија. На крају су дати основни закључци.

## 2. ДУБОКО УЧЕЊЕ

Дубоко учење заправо означава вишеслојну неуронску мрежу са високим нивоом апстракције моделирања [12]. Концепт дубоког учења уведен је још осамдесетих година прошлог века, а детаљно је објашњен у раду [5]. Раније су ограничење за коришћење алгоритама дубоког учења представљали рачунарски ресурси. Са развојем процесора и меморије, значајно се смањило време неопходно за обраду велике количине података. Кључна предност модела дубоког учења је њихова способност да обрађују велике и сложене скупове података које је тешко обрадити другим техникама рачунарске интелигенције. Такође, дубоко учење може да открије нелинеарне везе и између структурираних и неструктуираних података.

У оквиру овог рада посебну пажњу смо посветили моделима дубоког учења који су погодни за временски зависне податке: дубоки вишеслојни перцептрон, рекурентне и конволуционе неуронске мреже. Дубоки вишеслојни перцептрон је издвојен због чињенице да се вишеслојни перцептрон у великој мери показао као успешан алгоритам за предвиђање различитих финансијских временских серија [38]. С обзиром на велики број скривених слојева и неурона, поменути алгоритам може да апроксимира било коју континуалну функцију.

Алгоритми дубоког учења као што су рекурентне мреже (енг. recurrent neural network, RNN) и мреже дуготрајно краткорочне меморије (енг. long short-term memory, LSTM) су посебно погодне за рад са секвенцијалним подацима и обраду природних језика. Ови алгоритми имају способност да чувају претходне информације путем краткорочне или дугорочне меморије. Како предвиђање финансијских временских серија није повезано само са тренутним, већ и са историјским подацима, информације које се преносе могу бити изгубљене уколико се користе само тренутни подаци. Информације се селективно филтрирају кроз „капије“ јединице дуготрајно краткорочне меморије, а значајније информације се издвајају током тренирања.

Поред дубоког вишеслојног перцептрона и рекурентних мрежа, конволуционе неуронске мреже (енг. convolutional neural network, CNN) су такође примењиване у истраживањима финансијских временских серија [2, 17, 18, 22, 26, 30, 36, 38]. Најважнија карактеристика ових мрежа јесу конволуциони слојеви који се прерачунавају померањем прозора кроз улазне податке креирајући мапе карактеристика. С обзиром на добре резултате у истраживањима [7, 27, 34, 35, 40, 48, 49], конволуционе неуронске мреже имају солидну перспективу за даље истраживање.

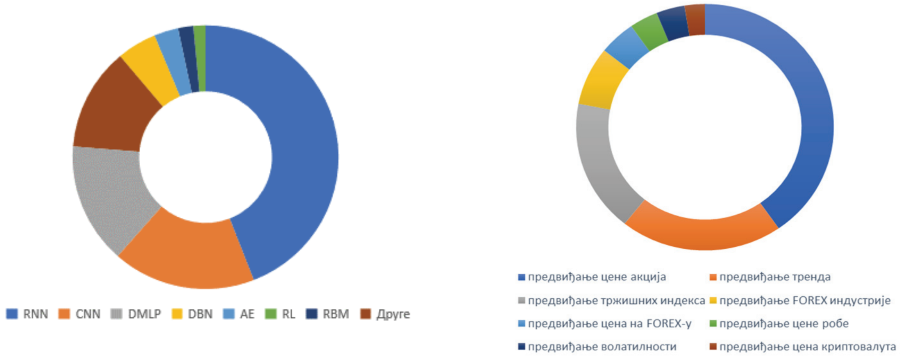
## 3. ПРЕДВИЂАЊЕ ФИНАНСИЈСКИХ ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА

Број радова над којима је спроведена ова студија је 187, обухватајући прегледно истраживање [38] са 140 радова и 47 новијих радова. То укључује објављене чланке из часописа са импакт фактором од издавача *Springer*, *Elsevier*, *IEEE*, *MDPI* и *Wiley Online Library*, радова са конференција и докторских дисертација између 2005. и 2023. године.

На Слици 1 приказана је атрактивност различитих финансијских временских серија током претходних 26 година. Предвиђање тржишта акција је примарно поље истраживања када су у питању финансијске временске серије. Студије које предвиђају цене акција [1-3, 5-8, 10-11, 14, 16-19, 22, 24-25, 27-32, 35-38, 40-41, 43-49], тржишне индексе [4, 13, 20, 38] или тренд [15, 33, 38-39] чине чак 78% свих радова као што је истакнуто на Слици 2.

**Слика 1:** Број објављених радова за различите финансијске временске серије по годинама

Такође, Слика 2 потврђује доминацију модела заснованих на рекурентним неуронским мрежама, потом следе конволуционе неуронске мреже и дубоки вишеслојни перцептрон. Истраживачи углавном користе дуготрајно краткорочну меморију због релативно једноставног развоја модела [1-6, 8-9, 16-19, 22-24, 26, 28-30, 32-33, 36-39, 41, 43-45, 47]. Конволуционе неуронске мреже су се показале као погодније за предвиђање цена са сложенијом структуром података [2-3, 7, 13, 17-18, 22, 26-27, 29-30, 34-36, 38, 40, 46-49], док је дубоки вишеслојни перцептрон најчешће примењиван на проблеме предвиђања цена [3, 6] и класификације тренда у три групе, растући, стационарни и опадајући [38].



**Слика 2:** Расподела објављених радова на основу коришћених техника и домена за предвиђање финансијских временских серија

Иако су америчке берзе (нпр. NASDAQ, NYSE) најзаступљеније у финансијским истраживањима, када је реч о моделима дубоког учења занимљиво је запажање да се најчешће примењују на тржишта акција Индије и Кине. Експерименти су доминанто извршени у Python програмском окружењу.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Основни циљ рада је био да пружи свеобухватан преглед литературе о примени дубоког учења у домену финансијских временских серија. Прегледано је 187 радова из академских база података објављених између 2005. и 2023. године. Препознато је осам различитих група финансијских временских серија и идентификоване су најчешће коришћене технике дубоког учења за сваку од њих. На основу прегледа, закључујемо да су за временски зависне финансијске податке најзаступљенији модели дуготрајно краткорочне меморије, а затим и рекурентне неуронске мреже. Као наставак истраживања, спроведена је додатна анализа успешности модела дубоког учења која превазилази опсег овог рада.

### Захвалница

Истраживање је финансирано уз подршку Факултета организационих наука, Универзитета у Београду.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Agrawal, M., Shukla, P. K., Nair, R., Nayyar, A., & Masud, M. (2022). Stock prediction based on technical indicators using deep learning model. *Computers, Materials & Continua*, *70*(1).

[2] Aldhyani, T. H., & Alzahrani, A. (2022). Framework for predicting and modeling stock market prices based on deep learning algorithms. *Electronics*, *11*(19), 3149.

[3] Alkhatib, K., Khazaleh, H., Alkhazaleh, H. A., Alsoud, A. R., & Abualigah, L. (2022). A new stock price forecasting method using active deep learning approach. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, *8*(2), 96.

[4] Althelaya, K. A., Mohammed, S. A., & El-Alfy, E. S. M. (2021). Combining deep learning and multiresolution analysis for stock market forecasting. *IEEE Access*, *9*, 13099-13111.

[5] Biswas, M., Shome, A., Islam, M. A., Nova, A. J., & Ahmed, S. (2021, April). Predicting stock market price: A logical strategy using deep learning. In *2021 IEEE 11th IEEE Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)* (pp. 218-223). IEEE.

[6] Cao, J., Li, Z., & Li, J. (2019). Financial time series forecasting model based on CEEMDAN and LSTM. *Physica A: Statistical mechanics and its applications*, *519*, 127-139.

[7] Chandar, S. K. (2022). Convolutional neural network for stock trading using technical indicators. *Automated Software Engineering*, *29*, 1-14.

[8] Chandola, D., Mehta, A., Singh, S., Tikkiwal, V. A., & Agrawal, H. (2022). Forecasting Directional Movement of Stock Prices using Deep Learning. *Annals of Data Science*, 1-18.

[9] Chatterjee, A., Bhowmick, H., & Sen, J. (2022, October). Stock Volatility Prediction using Time Series and Deep Learning Approach. In *2022 IEEE 2nd Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon)* (pp. 1-6). IEEE.

[10] Chen, L., Pelger, M., & Zhu, J. (2023). Deep learning in asset pricing. *Management Science*.

[11] Cheng, D., Yang, F., Xiang, S., & Liu, J. (2022). Financial time series forecasting with multi-modality graph neural network. *Pattern Recognition*, *121*, 108218.

[12] D'Amato, V., Levantesi, S., & Piscopo, G. (2022). Deep learning in predicting cryptocurrency volatility. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *596*, 127158.

[13] Gao, R., Zhang, X., Zhang, H., Zhao, Q., & Wang, Y. (2022). Forecasting the overnight return direction of stock market index combining global market indices: A multiple-branch deep learning approach. *Expert Systems with Applications*, *194*, 116506.

[14] Hao, J., He, F., Ma, F., Zhang, S., & Zhang, X. (2023). Machine learning vs deep learning in stock market investment: an international evidence. *Annals of Operations Research*, 1-23.

[15] Haq, A. U., Zeb, A., Lei, Z., & Zhang, D. (2021). Forecasting daily stock trend using multi-filter feature selection and deep learning. *Expert Systems with Applications*, *168*, 114444.

[16] Ji, X., Wang, J., & Yan, Z. (2021). A stock price prediction method based on deep learning technology. *International Journal of Crowd Science*, *5*(1), 55-72.

[17] Jing, N., Wu, Z., & Wang, H. (2021). A hybrid model integrating deep learning with investor sentiment analysis for stock price prediction. *Expert Systems with Applications*, *178*, 115019.

[18] Kamara, A. F., Chen, E., & Pan, Z. (2022). An ensemble of a boosted hybrid of deep learning models and technical analysis for forecasting stock prices. *Information Sciences*, *594*, 1-19.

[19] Kumar, S., Chitradevi, D., & Rajan, S. (2022, April). Stock price prediction using deep learning LSTM (long short-term memory). In *2022 2nd International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE)* (pp. 1787-1791). IEEE.

[20] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature, 521*(7553), 436-444.

[21] Li, Y., & Pan, Y. (2022). A novel ensemble deep learning model for stock prediction based on stock prices and news. *International Journal of Data Science and Analytics*, 1-11.

[22] Liu, M. (2023). The Application of Deep Learning in Stock Prediction. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, *31*, 71-75.

[23] Liu, Y. (2019). Novel volatility forecasting using deep learning–long short term memory recurrent neural networks. *Expert Systems with Applications, 132*, 99-109.

[24] Liu, H., & Long, Z. (2020). An improved deep learning model for predicting stock market price time series. *Digital Signal Processing*, *102*, 102741.

[25] Liu, Q., Tao, Z., Tse, Y., & Wang, C. (2022). Stock market prediction with deep learning: The case of China. *Finance Research Letters*, *46*, 102209.

[26] Livieris, I. E., Pintelas, E., & Pintelas, P. (2020). A CNN–LSTM model for gold price time-series forecasting. *Neural computing and applications*, *32*, 17351-17360.

[27] Maqsood, H., Mehmood, I., Maqsood, M., Yasir, M., Afzal, S., Aadil, F., ... & Muhammad, K. (2020). A local and global event sentiment based efficient stock exchange forecasting using deep learning. *International Journal of Information Management*, *50*, 432-451.

[28] Mehta, P., Pandya, S., & Kotecha, K. (2021). Harvesting social media sentiment analysis to enhance stock market prediction using deep learning. *PeerJ Computer Science*, *7*, e476.

[29] Mehtab, S., & Sen, J. (2020). A time series analysis-based stock price prediction using machine learning and deep learning models. *International Journal of Business Forecasting and Marketing Intelligence*, *6*(4), 272-335.

[30] Mehtab, S., & Sen, J. (2022). Analysis and forecasting of financial time series using CNN and LSTM-based deep learning models. In *Advances in Distributed Computing and Machine Learning: Proceedings of ICADCML 2021* (pp. 405-423). Springer Singapore.

[31] Muhammad, T., Aftab, A. B., Ahsan, M., Muhu, M. M., Ibrahim, M., Khan, S. I., & Alam, M. S. (2022). Transformer-Based Deep Learning Model for Stock Price Prediction: A Case Study on Bangladesh Stock Market. *arXiv preprint arXiv:2208.08300.*

[32] Nabipour, M., Nayyeri, P., Jabani, H., Mosavi, A., & Salwana, E. (2020). Deep learning for stock market prediction. *Entropy*, *22*(8), 840.

[33] Nabipour, M., Nayyeri, P., Jabani, H., Shahab, S., & Mosavi, A. (2020). Predicting stock market trends using machine learning and deep learning algorithms via continuous and binary data; a comparative analysis. *IEEE Access*, *8*, 150199-150212.

[34] Oyedele, A. A., Ajayi, A. O., Oyedele, L. O., Bello, S. A., & Jimoh, K. O. (2023). Performance evaluation of deep learning and boosted trees for cryptocurrency closing price prediction. *Expert Systems with Applications, 213*, 119233.

[35] Patil, P., Wu, C. S. M., Potika, K., & Orang, M. (2020, January). Stock market prediction using ensemble of graph theory, machine learning and deep learning models. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Software Engineering and Information Management* (pp. 85-92).

[36] Rezaei, H., Faaljou, H., & Mansourfar, G. (2021). Stock price prediction using deep learning and frequency decomposition. *Expert Systems with Applications*, *169*, 114332.

[37] Sen, J., Dutta, A., & Mehtab, S. (2021, May). Profitability analysis in stock investment using an LSTM-based deep learning model. In *2021 2nd International Conference for Emerging Technology (INCET)* (pp. 1-9). IEEE.

[38] Sezer, O. B., Gudelek, M. U., & Ozbayoglu, A. M. (2020). Financial time series forecasting with deep learning: A systematic literature review: 2005–2019. *Applied soft computing*, *90*, 106181.

[39] Shen, J., & Shafiq, M. O. (2020). Short-term stock market price trend prediction using a comprehensive deep learning system. *Journal of big Data*, *7*(1), 1-33.

[40] Shi, Y., Zheng, Y., Guo, K., & Ren, X. (2021). Stock movement prediction with sentiment analysis based on deep learning networks. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, *33*(6), e6076.

[41] Sisodia, P. S., Gupta, A., Kumar, Y., & Ameta, G. K. (2022, February). Stock market analysis and prediction for NIFTY50 using LSTM Deep Learning Approach. In *2022 2nd International Conference on Innovative Practices in Technology and Management (ICIPTM)* (Vol. 2, pp. 156-161). IEEE.

[42] Song, Y., Tang, X., Wang, H., & Ma, Z. (2023). Volatility forecasting for stock market incorporating macroeconomic variables based on GARCH-MIDAS and deep learning models. *Journal of Forecasting*, *42*(1), 51-59.

[43] Sunny, M. A. I., Maswood, M. M. S., & Alharbi, A. G. (2020, October). Deep learning-based stock price prediction using LSTM and bi-directional LSTM model. In *2020 2nd Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)* (pp. 87-92). IEEE.

[44] Swathi, T., Kasiviswanath, N., & Rao, A. A. (2022). An optimal deep learning-based LSTM for stock price prediction using twitter sentiment analysis. *Applied Intelligence*, *52*(12).

[45] Yadav, A., Jha, C. K., & Sharan, A. (2020). Optimizing LSTM for time series prediction in Indian stock market. *Procedia Computer Science*, *167*, 2091-2100.

[46] Yadav, K., Yadav, M., & Saini, S. (2022). Stock values predictions using deep learning based hybrid models. *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, *7*(1), 107-116.

[47] Yang, C., Zhai, J., & Tao, G. (2020). Deep learning for price movement prediction using convolutional neural network and long short-term memory. *Mathematical Problems in Engineering*, *2020*.

[48] Wan, R., Mei, S., Wang, J., Liu, M., & Yang, F. (2019). Multivariate temporal convolutional network: A deep neural networks approach for multivariate time series forecasting. *Electronics*, *8*(8), 876.

[49] Wang, X., Wang, Y., Weng, B., & Vinel, A. (2020). Stock2Vec: a hybrid deep learning framework for stock market prediction with representation learning and temporal convolutional network. *arXiv preprint arXiv:2010.01197*.

# СИСТЕМ ЗА АЛГОРИТАМСКО ТРГОВАЊЕ ВАЛУТАМА ЗАСНОВАН НА КЛАСТЕРОВАЊУ ВРЕМЕНСКИХ СЕРИЈА

# FOREX ALGORITHMIC TRADING SYSTEM BASED ON TIME SERIES CLUSTERING

СОФИЈА ДАВИДОВИЋ[1], ПАВЛЕ МИЛОШЕВИЋ[2], АЛЕКСАНДАР РАКИЋЕВИЋ[3]

[1] Универзитет у Београду – Факултет организационих наука, Београд, sofija.davidovic158@gmail.com
[2] Универзитет у Београду – Факултет организационих наука, Београд, pavle.milosevic@fon.bg.ac.rs
[3] Универзитет у Београду – Факултет организационих наука, Београд, aleksandar.rakicevic@fon.rs

***Резиме:*** *Кроз овај рад биће дат осврт на истраживање које је спроведено са циљем кластеровања временских серија са тржишта валута, а како би потом на сваком кластеру била тестирана стратегија трговања. Циљ је утврдити да ли ће валутни парови који припадају истом кластеру имати сличне показатеље успешности. Алгоритам кластеровања који је примењен је самоорганизујућа мапа, једна врста неуронске мреже. При кластеровању за улаз нису коришћене целе временске серије, већ одабрани карактеристични атрибути који је описују.*

***Кључне речи:*** *Алгоритамско трговање, Кластеровање, Самоорганизујућа мапа, Временске серије, Валутни парови.*

***Abstract:*** *In this paper, we will investigate clustering of currency market time series and then apply trading strategies on different clusters. The goal is to determine if currency pairs that are in the same cluster have similar performance indicators. The clustering algorithm that has been performed is self-organizing map, a type of artificial neural network where input parameters are features that have been extracted from the time series.*

***Keywords:*** *Algorithmic trading, Clustering, Self-organizing map, Time series, Currency pairs.*

## 1. УВОД

Последњих деценија трговање валутама је све популарније. Многи се одлуче да инвестирају управо на овај начин, пошто ова активност постаје све више аутоматизована и последично олакшана. С друге стране, напредак у области рачунарских технологија довео је до развоја различитих програма који се користе за праћење кретања цена и аутоматски, алгоритамски тргују. На овај начин олакшан је приступ финансијским тржиштима [15], а додатно је отворен простор за истраживаче у овој области.

Финансијска тржишта се нису одупирала достигнућима у технологији, већ су усвајала многе напредне и сложене технологије како би тржиште учинили што ефикаснијим. Алгоритамско трговање одликује пре свега способност да прикупи информације које долазе са тржишта, али их и угради у њих, олакшавајући трговину и смањујући трошкове трговаца [7]. Ранијих година један од битнијих фокуса високофреквентног трговања, са техничког аспекта, је била максимизација брзине обраде података. С друге стране, популаризацијом метода рачунарске интелигенције акценат се ставља на аутоматизовану обраду великих количина података на основу којих се доносе одлуке [1]. Међу овим методама различити алгоритми кластеровања заузимају битно место у финансијској анализи са циљем да олакшају и унапреде одлучивање.

Током година су развијени бројни системи трговања који су представљени у референтној литератури. Систем за трговање предложен у [16] користи методу кластеровања засновану на логици анализе финансијских стања компанија како би разликовао потцењене акције од прецењених акција. Значај оптимизације система огледа се у профитабилности система који су зановани на једноставним стратегијама [2]. У литератури је акценат дуго био на развијању метода кластеровања и њиховом унапређивању, па тако неки радови предлажу нов приступ попут комбиновања са радијалном неуронском мрежом која треба да унапреди кластеровање финансијских временских серија [11]. Ово представља пут ка све сложенијим моделима, тежим за интерпретацију. Ипак, некада комплекснији модели попут методе потпорних вектора неће дати ништа боље резултате него једноставнији модели са пажљиво изабраним атрибутима који описују временску серију тврде аутори рада [8].

Иако су многи алгоритми кластеровања нашли своју примену у различитим финансијским проблемима, њихова употреба у анализи кретања цена валутних парова зарад трговања није честа. Циљ овог рада је развити систем за алгоритамско трговање, који применом методе самоорганизујуће мапе треба да групише валутне парове у кластере, а након тога примени осмишљену стратегију трговања над сваким кластером. Основна идеја рада је утврдити да ли су у случају трговања валутним паровима добијене перформансе, унутар кластера, међусобно сличне. На тај начин би се закључило да ли кластеровање временских серија има смисла као први корак у селекцији валутних парова којима би се трговало. Последично, евалуирало би се колико су добро кластероване временске серије применом неуронске мреже, што до сада није био предмет проучавања међу истраживачима.

Након увода и кратког увида у досадашње резултате у области, описане су теоријске основе и неки неопходни појмови система за трговање и кластеровања временских серија. У трећем поглављу су представљени подаци који су коришћени, док су у наставку приказани експеримент, добијени резултати, као и закључак.

## 2. ТЕОРИЈСКЕ ОСНОВЕ И ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

### 2.1. Системи за трговање

Данашње време које је донело проток велике количине информација и где је битно реаговати у секунди се испоставило као плодно тло за развој и успон бројних система трговања који настоје да аутоматизују једну или више фаза процеса трговања. Овакви системи настоје да детектују и искористе пролазне аномалије цена, патерне који доносе профит, па чак и препознају понашање и намере трговаца. Развојем рачунарске интелигенције и увиђањем њених предности, као и унапређења која може донети, бројни истраживачи су кренули да је имплементирају у своје алгоритме, па тако и у алгоритме за трговање валутама [4].

Тржиште валута је, захваљујући својој доступности и ликвидности, постало једно од највећих финансијских тржишта, где се чак 80% трансакција извршава аутоматски [17]. Развијени алгоритми за трговање валутама су допринели повећању ефикасности овог тржишта, што пре свега произлази из информационе ефикасности која убрзава откривање цена и даје могућност трговцу, то јест систему, да на време реагује [3]. Трговање валутама је привлачно због чињенице да је доступно у сваком тренутку (нема радног времена), саме величине тржишта које га чини уносним, обима трговања, као и разноврсности учесника. Осмишљавање стратегија на основу којих се тргује је битан део система трговања и оне могу бити засноване на различитим компонентама – препознавању ценовних образаца, тумачењу различитих техничких индикатора, комбиновању индикатора, итд. Међутим, када се тргује валутама, на њихово кретање утичу бројни геополитички фактори и економска стабилност државе, па стратегија која је успешна у једном тренутку, у следећем већ не мора бити и из тог разлога неизбежно је константно пратити перформансе које остварује. Такође, аутоматизовани системи носе ризик од превелике оптимизације и некада могу да превиде случајеве у којима људска интуиција и искуство долазе до изражаја. Стога, тежи се да системи за трговање валутама имају способност учења, како би могли да адекватно одговоре на поменуте промене на тржишту. Нпр. адаптивно учење уз помоћ је једна од метода која је предложена као основа потпуно аутоматизованог система за трговину валутним паровима у раду [5], чија се главна предност огледа у слоју динамичке оптимизације параметара модела.

## 2.2. Кластеровање временских серија

Кластеровање се користи при идентификацији група односно представља уобичајену технику груписања сличних објеката у кластере. Кластер представља колекцију објеката који су међусобно слични, али различити од објеката који припадају другим кластерима [12].

Самоорганизујућа мапа (СОМ) је једна врста вештачке неуронске мреже која се успешно користи за кластеровање података, а неретко решава и проблем редукције димензија података. СОМ је заснован на компетитивном учењу са идејом да сигнали који су повезани буду близу један другог, како би брзо реаговали при појави неке дражи. Овај алгоритам карактерише способност учења из сложених вишедимензионалних података које трансформише у тополошку мапу много мањих димензија, углавном једне или две [13]. Уобичајено, архитектура ове мреже се састоји од два слоја, улазног и излазног, а сваки чвор улазног је у потпуности повезан са чворовима излазног слоја [10].

Једна од примена ове методе кластеровања је изложена у раду [9], где се предлаже коришћење СОМ за детектовање лажних финансијских података. Како су преваре међу финансијским извештајима честа појава у пракси, многи радови предлажу и комбиновање ове врсте кластеровања са алгоритмом *k*-средњих вредности [6]. Даље, поређене су хијерархијске методе кластеровања са самоорганизујућом мапом на 252 скупа података, и добијени резултати показују супериорност СОМ у односу на хијерархијске методе [14].

Када је улаз за кластеровање скуп временски уређених података, често се прибегава издвајању релевантних атрибута који ће представљати временску серију уместо да се цела користи. Овај процес за циљ има смањење димензија скупа података уз задржавање што више релевантних информација које ће на прави начин описати временску серију. Издвајање атрибута има велики утицај на унапређење перформанси модела, као и на редукцију времена за обучавање алгоритма и минимизацију ризика од прекомерног прилагођавања.

## 3. ОСНОВА СИСТЕМА И ПОДАЦИ

Основни мотив овог рада је развијање система за алгоритамско трговање, који ће обухватати следеће кораке: 1) прикупљање и претпроцесирање података са тржишта валута, 2) кластеровање временских серија, 3) примена стратегије за трговање. У овом раду, акценат је дат на кластеровању временских серија, са циљем да се покаже да временске серије из истог кластера карактеришу сличне вредности показатеља успешности.

За потребе истраживачког рада коришћени су подаци о ценама најтргованијих валутних парова, забележених на тржишту валута. Посматран је период од маја 2015. до маја 2023. године, а како је за временски оквир трговања узет период од 30 минута свака временска серија је садржала 100 000 инстанци. Поред датума и времена, временске серије су садржале информације о ценама на отварању, затварању, као и највишој и најнижој забележеној цени у 30 минута за 13 одабраних валутних парова. Валутни парови који су коришћени су евро / амерички долар (*EUR/USD*), евро / британска фунта (*EUR/GBP*), евро / швајцарски франак (*EUR/CHF*), евро / јапански јен (*EUR/JPY*), амерички долар / швајцарски франак (*USD/CHF*), амерички долар / јапански јен (*USD/JPY*), амерички долар / канадски долар (*USD/CAD*), швајцарски франак / јапански јен (*CHF/JPY*), британска фунта / швајцарски франак (*GBP/CHF*), британска фунта / јапански јен (*GBP/JPY*), британска фунта / амерички долар (*GBP/USD*), аустралијски долар / амерички долар (*AUD/USD*) и новозеландски долар / амерички долар (*NZD/USD*). Подаци су преузети са платформе *Trading Academy* и било је потребно конвертовати их у облик погодан за њихово касније коришћење.

Ретко када се подаци из реалних система могу употребити без додатне трансформације и прилагођавања. Изабрани валутни парови немају исте опсеге вредности, па су из тог разлога све временске серије нормализоване на интервал [0,1] помоћу *min-max* нормализације. За потребе овог експеримента коришћене су само цене на отварању временског периода.

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТ

Експеримент у овом раду је подразумевао нормализацију података, кластеровање временских серија и примену стратегије за алгоритамско трговање. Све методе и функције које су коришћене за извођење експеримента имплементиране су у програмском језику *MATLAB* и извршене на платформи *MATLAB R2022b*.

Након што су подаци трансформисани у облик погодан за даљи рад, урађена је екстракција атрибута за свих 13 поменутих временских серија. Временске серије су сведене на векторе карактеристичних атрибута који се састоје од 14 одабраних показатеља за које се сматра да ће најбоље описати временску серију. Вектор су чиниле средња вредност ($A_1$), медијана ($A_2$), максимална ($A_3$) и минимална вредност ($A_4$), варијанса ($A_5$), стандардна девијација ($A_6$), разлика првог и последњег елемента серије ($A_7$), вредност првог ($A_8$) и трећег квартила ($A_9$), највећи раст ($A_{10}$), највећи пад ($A_{11}$), угао највећег пада ($A_{12}$) и највећег раста ($A_{13}$), као и вредност варијансе уколико се изузму екстреми ($A_{14}$).

Кластеровање је вршено методом самоорганизујуће мапе која захтева спецификацију броја кластера у скупу улазних података, пре извршавања алгоритма. Оптималан број кластера по методи лакта за овај скуп података је 3. Из тога произлазе димензије последњег слоја самоорганизујуће мапе које су иницијализоване на 3x1.

Валутни парови су распоређени тако да је првом кластеру припало 8 валутних парова, другом 4, а последњем, трећем, само 1. Први и највећи кластер се састоји од валутних парова: *EUR/USD*, *AUD/USD*, *NZD/USD*, *USD/CAD*, *USD/JPY*, *EUR/CHF*, *CHF/JPY* и *GBP/CHF*. Парови *USD/CHF*, *EUR/JPY*, *GBP/JPY* и *GBP/USD* чине други кластер, док је трећем кластеру припао пар *EUR/GBP*. За сваки кластер приказани су центроиди у Табели 1. Силуета, метрика која треба да покаже колико је кластеровање успешно извршено, је на високом нивоу и износи 0.6535.

**Табела 1:** Резултати кластеровања методом СОМ – центроиди кластера

| **Кластер** | **Карактеристични атрибути** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | $A_4$ | $A_5$ | $A_6$ | $A_7$ | $A_8$ | $A_9$ | $A_{10}$ | $A_{11}$ | $A_{12}$ | $A_{13}$ | $A_{14}$ |
| I | 0.48 | 0.46 | 1 | 0 | 0.03 | 0.18 | -0.1 | 0.37 | 0.58 | 0.05 | -0.06 | 3.17 | -3.53 | $1.79e^{-06}$ |
| II | 0.46 | 0.46 | 1 | 0 | 0.04 | 0.2 | -0.15 | 0.31 | 0.59 | 0.07 | -0.09 | 3.96 | -5.18 | $2.23e^{-06}$ |
| III | 0.63 | 0.67 | 1 | 0 | 0.04 | 0.2 | 0.59 | 0.6 | 0.75 | 0.19 | -0.11 | 10.82 | -6.59 | $1.5e^{-06}$ |

Након што су валутни парови груписани у кластере, над свима је примењена стратегија трговања која комбинује два техничка индикатора – експоненцијални покретни просек (ЕМА) на 50 временских јединица и стохастички осцилатор (СО). ЕМА је један од индикатора тренда и за циљ има да већу вредност и значајност даје скоријим вредностима цена. С друге стране СО представља индикатор позиције и има задатак да на релативан начин изрази где се тренутна цена налази у односу на ценовни опсег у претходном периоду који се посматра. Одлуке о трговању се за овај индикатор доносе на основу горње и доње границе и ове вредности се експертски дефинишу. Уобичајено се за границе узимају вредности 70 и 30 респективно, те су и у овом експерименту оне постављене на те вредности.

Комбиновањем ова два индикатора добијен је сигнал за трговање:

1) сигнал за куповину је када је тренутна цена на затварању већа од ЕМА, а тренутни СО је већи од доње границе, док је претходни СО мањи од доње границе;

2) сигнал за продају је када је тренутна цена на затварању мања од ЕМА, а тренутни СО је мањи од горње границе, док је претходни СО већи од горње границе.

За праћење перформанси стратегије и лакше поређење резултата одабрани су следећи финансијски показатељи успешности: проценат успешно отворених позиција ($П_1$), процентуални однос оствареног профита и губитка ($П_2$), профитни фактор ($П_3$) и процентуални максимални губитак ($П_4$). Почетна сума новца са којом се улагало је износила 100 000 америчких долара, а експеримент је изведен са фиксном и са релативном величином лота. Фиксни лот је увек износио 10 000, док је релативан лот био 10%. У Табели 2. приказани су резултати трговања са фиксним лотом, који су нешто бољи у општем случају.

Добијени резултати јасно указују да постоји патерн у резултатима трговања на валутним паровима груписаним у исте кластере. Разлике између перформанси су најочигледније ако се посматрају показатељи $П_2$ и $П_3$ – процентуални однос оствареног профита и губитка и профитни фактор. Оба фактора представљају показатеље профитабилности система за трговање, што је врло често и најбитнија метрика за евалуацију. Када се посматрају просечне вредности показатеља успешности за сваки кластер, први кластер се јасно издваја као најуспешнији, док други и трећи кластер остварују лошије, међусобно релативно сличне резултате. Такође, валута која у ова два кластера доминира је британска фунта, што се може довести у везу са финансијском неизвесношћу изазваном изласком Велике Британије из Европске уније. Ипак, кластер два има најлошије перформансе по показатељу $П_2$.

**Табела 2:** Перформансе стратегије трговања по кластерима

| **Кластер** | **Валутни пар** | **Лот** | **Показатељи успешности** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $П_1$ | $П_2$ | $П_3$ | $П_4$ |
| I | *EUR/USD* | фиксан | 28 | -3 | 0.92 | -0.04 |
| | *AUD/USD* | фиксан | 27 | 51 | 3.46 | -0.07 |
| | *NZD/USD* | фиксан | 26 | 24 | 1.9 | -0.04 |
| | *USD/CAD* | фиксан | 26 | 8 | 1.27 | -0.07 |
| | *USD/JPY* | фиксан | 37 | 25 | 1.84 | -0.06 |
| | *CHF/JPY* | фиксан | 30 | -22 | 0.61 | -0.34 |
| | *GBP/CHF* | фиксан | 32 | 17 | 1.39 | -0.04 |
| | *EUR/CHF* | фиксан | 42 | 49 | 6.21 | 0 |
| | Просек | | 31 | 18.625 | 2.2 | -0.0825 |
| II | *EUR/JPY* | фиксан | 28 | 14 | 1.4 | -0.01 |
| | *GBP/JPY* | фиксан | 18 | -33 | 0.58 | -0.47 |
| | *GBP/USD* | фиксан | 37 | 18 | 1.45 | -0.02 |
| | *USD/CHF* | фиксан | 28 | -17 | 0.59 | -0.22 |
| | Просек | | 27.75 | -4.5 | 1.005 | -0.18 |
| III | *EUR/GBP* | фиксан | 25 | 3 | 1.08 | -0.04 |
| | Просек | | 25 | 3 | 1.08 | -0.04 |

## 5. ЗАКЉУЧАК

Главни мотив овог рада је испитивање значаја кластеровања временских серија, као алгоритма за селекцију валутних парова којим би се трговало. Као алгоритам за кластеровање примењене су самоорганизујуће мапе над скупом од 13 временских серија валутних парова, а све у циљу препознавања кластера који ће након примене стратегије трговања дати најбоље трговачке перформансе. Детаљном анализом појединачних резултата и поређењем центроида кластера, јасно су издвојена три кластера: први, највећи кластер валутних парова који су перспективни за трговање, и друга два која су остварила значајно лошије перформансе. Могућност за унапређење истраживања огледа се у примени других техника кластеровања, одабиру нових карактеристичних атрибута којима се описује временска серија, редукцији скупа података, као и измени улазног скупа за кластеровање који може бити цела временска серија. Такође, систем се може унапредити и одабиром друге стратегије трговања која се заснива на ценовним обрасцима уместо техничким индикаторима или их комбинује.

**Захвалница:** Истраживање је финансирано уз подршку Факултета организационих наука, Универзитета у Београду.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Beverungen, A. (2019). Algorithmic trading, artificial intelligence and the politics of cognition. In *The Democratization of Artificial Intelligence* (pp.77–93). Verlag.

[2] Bigiotti, A., & Navarra, A. (2019). Optimizing automated trading systems. In *Digital Science* (pp. 254-261). Springer.

[3] Chaboud, A. P., Chiquoine, B., Hjalmarsson, E., & Vega, C. (2014). Rise of the machines: Algorithmic trading in the foreign exchange market. *Journal of Finance*, 69(5), 2045-2084.

[4] Cohen, G. (2022). Algorithmic trading and financial forecasting using advanced artificial intelligence methodologies. *Mathematics*, 10(18), 3302.

[5] Dempster, M. A., & Leemans, V. (2006). An automated FX trading system using adaptive reinforcement learning. *Expert Systems with Applications*, 30(3), 543-552.

[6] Deng, Q., & Mei, G. (2009, August). Combining self-organizing map and K-means clustering for detecting fraudulent financial statements. In *2009 IEEE International Conference On Granular Computing* (pp. 126-131). IEEE.

[7] Dubey, R. K. (2022). Algorithmic Trading: The Intelligent Trading Systems and Its Impact on Trade Size. *Expert Systems with Applications*, 202, 117279.

[8] Gerlein, E. A., McGinnity, M., Belatreche, A., & Coleman, S. (2016). Evaluating machine learning classification for financial trading: An empirical approach. *Expert Systems with Applications*, 54, 193-207.

[9] Jian, L., Ruicheng, Y., & Rongrong, G. (2016, July). Self-organizing map method for fraudulent financial data detection. In *2016 3rd International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)* (pp. 607-610). IEEE.

[10] Kohonen, T. (2013). Essentials of the self-organizing map. *Neural Networks*, 37, 52-65.

[11] Liu, F., Du, P., Weng, F., & Qu, J. (2007, August). Use clustering to improve neural network in financial time series prediction. In *Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007)* (vol. 2, pp. 89-93). IEEE.

[12] Madhulatha, T. S. (2012). An overview on clustering methods. *OSR Journal of Engineering*, 4, 719.

[13] Maimon, O., & Rokach, L. (Eds.) (2005). Data Mining and Knowledge Discovery Handbook.

[14] Mangiameli, P., Chen, S. K., & West, D. (1996). A comparison of SOM neural network and hierarchical clustering methods. *European Journal of Operational Research*, 93(2), 402-417.

[15] Nuti, G., Mirghaemi, M., Treleaven, P., & Yingsaeree, C. (2011). Algorithmic trading. *Computer*, 44(11), 61-69.

[16] Rakićević, A., Simeunović, V., Petrović, B., & Milić, S. (2018). An automated system for stock market trading based on logical clustering. *Tehnički vjesnik*, *25*(4), 970-978.

[17] Rime, D. (2014). New electronic trading systems in the foreign exchange market. SSRN.

# МЕНАЏМЕНТ

# MANAGAMENT

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ИСТРАЖИВАЊЕ ЗАДОВОЉСТВА РАДОМ ПРОФЕСИОНАЛНИХ УПРАВНИКА СТАМБЕНИХ ЗГРАДА У СРБИЈИ

# RESEARCH ON PERFORMANCE SATISFACTION OF PROFESSIONAL HOUSING MANAGERS OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN SERBIA

АЛЕКСАНДАР ПЕТРОВИЋ[1], ДАНИЦА ЛЕЧИЋ-ЦВЕТКОВИЋ

[1] Управа за односе са јавношћу Министарства одбране, aleksandar.petrovic@mod.gov.rs
[2] Факултет организационих наука Београд, danica.lecic-cvetkovic@fon.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Главни циљ истраживања представљеног у овом раду јесте анализа задовољства станара радом управника стамбених зграда у Србији. Истраживање је спроведено крајем јула и почетом августа 2022. године у већим градовима Србије на узорку од 304 испитаника методом онлајн анкете. Резултати показују да је опште задовољство станара условима становања у стамбеним зградама повезано је са брзином и задовољством решавања проблема станара, као и да су станари у стамбеним зградама задовољнији радом управника стамбених заједница из редова станара у односу на рад професионалних управника. Такође је утврђено да учесталост комуникације станара са управом стамбене заједнице значајно утиче на задовољство станара решавањем проблема и на опште задовољство станара у стамбеним зградама. Резултати истраживања могу послужити као основа за даља истраживања на ову тему као и параметар агенцијама које се баве управљањем стамбеним зградама приликом управљања пословним процесима.*

***Кључне речи:*** *задовољство станара, стамбена заједница, професионални управник стамбених зграда*

***Abstract:*** *The main goal of the research presented in this paper is the analysis of tenants' satisfaction with the performance of housing managers of residential buildings in Serbia. The research was conducted at the end of July and beginning of August 2022 in major cities of Serbia on a sample of 304 respondents using the online survey method. The results show that the general satisfaction of tenants with living conditions in residential buildings is related to the speed and satisfaction of solving tenants' problems. It also shows that tenants in residential buildings are more satisfied with the performance of the managers' who are tenants compared to the work of professional managers. It was also determined that the frequency of communication between tenants and the housing managemen significantly affects the satisfaction of tenants with solving problems and the general satisfaction of tenants in residential buildings. The research results can serve as a basis for further research on this topic as well as a parameter for agencies that deal with the management of residential buildings when managing business processes.*

***Keywords:*** *housing satisfaction, residential community, professional housing manager*

---

## 1. УВОД

Питање професионалног управљања стамбеним заједницама у Републици Србији постало је актуелно 2017. године када је ступио на снагу нови Закон о становању и одржавању зграда у коме стоји да „управљање зградом представљају сви организациони послови и активности које континуирано обавља изабрано или постављено лице (управник или професионални управник), односно орган управљања, у сврху руковођења зградом“ [12]. Октобра 2018. године портал „Каматица“ објавио је резултате сопствене онлајн анкете - „Колико сте задовољни радом професионалних управника“ у којој је учествовало 5.000 испитаника. Резултати су показали да 2.490, односно готово 50% њих, „не виде сврху професионалних управника“ и да се, „осим повећања трошкова, ништа није променило“, а 26% анкетираних оценило је да је „зграда у бољем стању“ [13]. Упркос важности и актуелности проблема квалитета управљања стамбеним зградама у Србији, осим наведене анкете, нису забележена научна истраживања на ову тему.

У Републици Србији, према подацима Републичког геодетског завода на дан 28. мај 2023. године регистровано је 59.912 стамбених заједница [14]. У Регистру професионалних управника стамбених зграда Привредне коморе Србије истог дана било је уписано 1.633 лица [15]. Научно утемељена истраживања у циљу изналажења одговора на питања којим обликом управљања стамбеним зградама су станари задовољнији и у којој мери то задовољство утиче на опште задовољство становањем допринела би развоју делатности професионалног управљања и њеног прилагођавања потребама корисника услуга.

Аутор рада поставља и методом статистичке анализе у програму IBM SPSS6 тестира три хипотезе. **Хипотеза 1.** - Опште задовољство станара условима становања у стамбеним зградама повезано је са брзином и задовољством решавања проблема станара; **Хипотеза 2.** - Станари у стамбеним зградама задовољнији су радом управника стамбених заједница из редова станара у односу на рад професионалних управника. **Хипотеза 3.** - Учесталост комуникације станара са управом стамбене заједнице значајно утиче на задовољство станара решавањем проблема и на опште задовољство станара у стамбеним зградама.

Поред увода, у раду је наведен преглед релевантне научне литаратуре из ове области, представљена је методологија истраживања, а затим резултати и дискусија добијених резултата те закључак рада.

## 2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Задовољство становањем није исто у свим земљама због особености друштвених група, али за све земље важи чињеница да је задовољство становањем више од самог квалитета зграда [3]. Поред квалитета стана, задовољство становањем зависи од околине и система управљања зградом *(Housing Management)* [7]. Међутим, када је реч о задовољству управљањем, пре свега од стране професионалних управника, истраживања бележе значајне разлике. Почетком последње деценије прошлог века, када је у суседној Мађарској почела експанзија приватних фирми за управљање стамбеним зградама, утврђен је значајан пораст задовољства станара радом управника, пре свега у домену одржавања зграда [6]. Насупрот Мађарској у периоду постсоцијалистичке транзиције, новија истраживања спроведена на Новом Зеланду, високоразвијеној капиталистичкој земљи, говоре да станари доминантно изражавају незадовољство услугама приватних фирми које се баве управљањем стамбеним зградама [8]. Нарочито изражен проблем у вези са мерењем задовољства управљањем стамбеним зградама јесте мерење учинка управљања. У испитивању учинка управљања стамбеним зградама, према Кемпу, „могуће је бавити се само индикаторима учинка, али не и мерама учинка“ [5], а сам учинак управљања поистовећује се често са личним учинком управника [4].

Будући да је прописима у Србији надлежност изабраног управника уређена много детаљније и слично начину на који се то чини у другим европским државама [11], постоји низ могућих индикатора његовог учинка који могу утицати на задовољство станара управљањем стамбеном зградом, а следствено и на задовољство становањем. Поред осталих, комуникација са управом је идентификована као значајан индикатор задовољства станара у погледу одржавања зграда [10] што је једна од главних функција управе и управника. Истраживања указују да је задовољство станара управљањем значајно повезано са степеном њихове укључености у процес управљања [1,9].

## 3. МЕТОДОЛОГИЈА

Истраживање је спровела агнеција Plum Mark из Сврљига методом онлајн панела у периоду од 27. јула до 6. августа 2022. године на случајном узорку од 304 испитаника (станара), оба пола (90 М, 214 Ж), просечне старости 44.5 година, из Београда (126), Ниша (65), Н. Сада

(27), Крагујевца (20) и других градова. Упитник се састојао од 21 питања, од чега су 19 била затвореног типа с тим што је за два питања која се тичу задовољства радом управника и стањем у згради употребљена петостепена Ликертова скала. Од одговора на питања која се тичу оцене брзине реаговања на упите, брзине и транспарентности решавања проблема, формирана је збирна скала названа „Задовољство решавањем проблема“. Приликом обраде упитника, елиминисано је 6 питања, а у разматрање је узето укупно 15 укључујући пол и демографију испитаника. Према типу управе у узорку је било 134 професионална управника, 145 из редова станара, 10 принудних и 15 осталих.

За статистичку анализу коришћен је софтвер IBM SPSS 6, а табеле у наставку сачињене су коришћењем аутентичних резултата добијених применом дескриптивне статистике, анализе значајности корелација применом Спирмановог (Spearman’s) коефицијента корелације рангова, утврђивањем значајности разлика суме рангова применом Крускал-Волисовог (Kruskal-Wallis) теста и испитивањем значајности разлика варијабли применом Ман-Витни (Mann-Whitney) теста.

**Табела 1.** Дескриптивна статистика узорка и основне карактеристике испитиване групе

| **Категоричке (номиналне) варијабле** | | **Фреквенција** | **Проценат** (%) |
|---|---|---|---|
| Пол | Мушки | 90 | 29.6 |
| | Женски | 214 | 70.4 |
| Старосне групе | Мање од 30 година | 43 | 14.1 |
| | 30-39 година | 99 | 32.6 |
| | 40-49 година | 100 | 32.9 |
| | 50-59 година | 50 | 16.4 |
| | 60 и више година | 12 | 3.9 |
| Најчешћи начин комуникације | Уживо/на састанцима станара | 171 | 56.3 |
| | Телефоном | 83 | 27.3 |
| | Имејл | 5 | 1.6 |
| | СМС | 5 | 1.6 |
| | Директни чет (Viber, WhatsApp) | 15 | 4.9 |
| | Групни чет (Viber, WhatsApp) | 25 | 8.2 |
| Учесталост комуникације са управом | Свакодневно | 8 | 2.6 |
| | Недељно | 27 | 8.9 |
| | Месечно | 76 | 25 |
| | Ређе од једном месечно | 154 | 50.7 |
| | Једном годишње | 39 | 12.8 |
| Најчешћи разлог за контактирање са управом стамбене зграде | Пријава за хитне интервенције у стану | 39 | 12.8 |
| | Пријава квара у стамбеној заједници | 99 | 32.6 |
| | Рачуни и документација | 26 | 8.6 |
| | Поправке кварова, надзор радова и друго у организацији СЗ | 85 | 28 |
| | Редовне скупштине станара | 55 | 18.1 |
| Категоричке (ординалне) варијабле | | **Средња вред.** | **Медијана** |
| Оцена брзине реаговања управе на упите | | 3.23±0.92 | 3.00 |
| Оцена брзине решавања проблема | | 2.64±1.07 | 3.00 |
| Оцена транспарентности решавања проблема | | 2.68±1.16 | 3.00 |
| **Задовољство решавањем проблема** | | **2.89±0.84** | 3.00 |
| Задовољство радом управника | | 3.23±1.33 | 3.00 |
| Задовољство стањем у згради | | 3.18±1.10 | 3.00 |
| **Опште задовољство** | | **3.20±1.14** | 3.25 |

**Тестирање хипотезе број 1.** спроведено је утврђивањем јачине и значајности корелација општег задовољства станара са задовољством решавања проблема и оценом брзине решавања проблема, применом Спирмановог (Spearman’s) коефицијента корелације рангова (Табела 2).

**Табела 2.** Корелације оптштег задовољства са задовољством и оценом брзине решавања проблема СЗ

| Спирманов коефицијент корелације | Опште задовољство | Задовољство решавањем проблема | Оцена брзине решавања проблема |
|---|---|---|---|
| Опште задовољство | 1 | | |
| Задовољство решавањем проблема | 0.628$^{**}$ | 1 | |
| Оцена брзине решавања проблема | 0.466$^{**}$ | 0.773$^{**}$ | 1 |

$^{**}$ p = 0.000 < 0.001

**Тестирање хипотезе број 2** спроведено је утврђивањем значајности разлика суме рангова у општем задовољству и задовољству решавања проблема у односу на групе (1-4 категорија) категоричке (номиналне) варијабле типа управе применом Крускал-Волисовог (Kruskal-Wallis) теста (Табела 3).

**Табела 3.** Опште задовољство и задовољство решавањем проблема у односу на тип управе

| **Задовољство станара** | | **Медијана** | **Средња вредност** | **Статистика теста** | **Значајност разлика p** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Тип управе** | **Опште задовољство** | | | | |
| | 1. Проф. управник | 3.00 | 2.99±1.07 | 22.189 | **0.000** |
| | 2. Управник станар | 4.00 | 3.48±1.13 | | Значајност разлика између група:<br>- 1 - 2 = 0.000<br>- 2 - 3 = 0.000<br>- 1 - 3 = 0.028 |
| | 3. Принудни управник | 2.00 | 2.10±1.02 | | |
| | 4. Непознат/нема | 3.00 | 3.23±1.10 | | |
| | **Задовољство решавањем проблема** | | | | |
| | 1. Проф. управник | 2.67 | 2.79±0.83 | 25.108 | **0.001** |
| | 2. Управник станар | 3.33 | 3.08±0.81 | | Значајност разлика између група:<br>- 1 - 2 = 0.002<br>- 2 - 3 = 0.003<br>- 1 - 3 = 0.068 |
| | 3. Принудни управник | 2.33 | 2.33±0.65 | | |
| | 4. Непознат/нема | 2.33 | 2.22±0.74 | | |

**Тестирање хипотезе број 3** спроведено је утврђивањем значајности разлика суме рангова у општем задовољству и задовољству решавања проблема у односу на групе (1-5 категорија) категоричке (номиналне) варијабле учесталости комуникације са управом, применом Kruskal-Wallis теста (Табела 4). Према приказаним резултатима (у табели) може се закључити да са смањењем учесталости комуникације станара са управом опада опште задовољство станара (3.33 - 1.22, p<0.05) и задовољство решавања проблема (3.67 - 1.33, p<0.01).

**Табела 4.** Опште задовољство и задовољство решавањем проблема у односу на учесталост комуникације са управом

| **Задовољство станара** | | **Медијана** | **Средња вредност** | **Статистика теста** | **Значајност разлика p** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Учесталост комуникације са управом** | **Опште задовољство** | | | | |
| | 1. Свакодневно | 3.50 | 3.69±0.98 | 12.813 | **0.012** |
| | 2. Недељно | 3.50 | 3.31±1.07 | | Значајност разлика између група:<br>- 1 - 2 = 0.001<br>- 1 - 3,4,5 = 0.000 |
| | 3. Месечно | 3.50 | 3.25±1.01 | | |
| | 4. Ређе од једном месечно | 3.00 | 3.09±1.15 | | |
| | 5. Једном годишње | 1.00 | 1.69±1.04 | | |
| | **Задовољство решавањем проблема** | | | | |
| | 1. Свакодневно | 3.67 | 3.40±0.68 | 16.189 | **0.003** |
| | 2. Недељно | 3.00 | 2.85±0.82 | | Значајност разлика између група:<br>- 1 - 2 = 0.009<br>- 1 - 3,4,5 = 0.000<br>- 2 - 5 = 0.020<br>- 4 - 5 = 0.006 |
| | 3. Месечно | 3.00 | 2.98±0.74 | | |
| | 4. Ређе од једном месечно | 2.67 | 2.74±0.96 | | |
| | 5. Једном годишње | 1.33 | 1.68±0.93 | | |

## 4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Међусобне корелације општег задовољства, задовољства решавањем проблема и оцене брзине решавања проблема приказане у **табели број 2.** су средње јачине, позитивне и значајне ($p<0.001$). Применом Спирмановог теста коефицијента ранга установљена је јача корелација општег задовољства је са задовољством решавања проблема СЗ (Spearman's $\rho = 0.628$) у односу на корелацију средње јачине општег задовољства са оценом брзине решавања проблема ($\rho = 0.466$). На основу установљених позитивних и веома значајних корелација може се закључити да је опште задовољство станара у стамбеним зградама значајно повезано са задовољством и брзином решавања проблема чиме је **Хипотеза 1 Опште задовољство станара условима становања у стамбеним зградама повезано је са брзином и задовољством решавања проблема станара - потврђена.**

Према приказаним резултатима у **табели број 3**. може се закључити да постоје статистички значајне разлике у општем задовољству између типа управе где је управник стамбене зграде из редова станара (тип 2.) у односу на случајеве где је управник професионални (тип 1.) или принудни (тип 3) ($p<0.001$). Резултати добијени за тип управе где станари не познају управника или га нема, нису разматрани. Анализом средњих вредности добија се да је највиша средња вредност општег задовољства станара у стамбеним заједницама где је управник из њихових редова (3.48), затим у зградама где је управник професионални (2.99) и принудни (2.10). Анализа средњих вредности оцене задовољства решавањем проблема такође указују да су најзадовољнији станари где је управник из редова станара (3.08) у односу на професионалну управу (2.80) и принудну управу (2.33). Резултат Kruskal-Wallis теста показују да постоје значајне разлике у задовољству решавањем проблема између стамбених заједница где је управник станар и где је управник професионалац ($p<0.001$), док између типа професионалне и типа принудне управе нема значајних статистичких разлика у задовољству решавањем проблема ($p=0.68$). Из наведене анализе може се закључити да је задовољство станара радом професионалних управника мање у односу на задовољство радом управника стамбених заједница из редова станара чиме је **потврђена Хипотеза број 2 да су станари у стамбеним зградама задовољнији радом управника стамбених заједница из редова станара у односу на рад професионалних управника.**

Значајне разлике општег задовољства станара представљене у **табели број 4.** налазе се између 1. групе учесталости комуникације (свакодневно) и свих осталих група: 2 (недељно), 3 (месечно), 4 (ређе од једном месечно) и 5 (једном годишње) ($p <0.001$). Високо значајне разлике задовољства решавањем проблема налазе се између 1. групе учесталости комуникације (свакодневно) и свих осталих група, као и између 4 (ређе од једном месечно) и 5. групе (једном годишње); $p<0.001$. Значајна разлика ($p<0.05$) налази се између групе 2 (недељно) и 5. групе (једном годишње). На основу значајних разлика задовољства станара у односу на учесталост комуникације, може се закључити да учесталост обостране комуникације станара са управом (управником) стамбене заједнице значајно утиче на задовољство станара радом управе стамбене заједнице у решавању проблема и на опште задовољство станара у стамбеним зградама, чиме је **Хипотеза 3 да учесталост комуникације станара са управом стамбене заједнице значајно утиче на задовољство станара решавањем проблема и на опште задовољство станара у стамбеним зградама - потврђена**.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Основно ограничење спроведеног истраживања је чињеница да у Србији, од 2017. године, када је законом уведено професионално управљање стамбеним зградама, нису провођена научна истраживања на ову тему, нити је задовољство управљањем СЗ у релевантној домаћој литератури навођено као фактор укупног задовољства становањем. Стога ово истраживање може послужити као основ за даља истраживања усмерена на прецизнију идентификацију фактора задовољства управљањем СЗ и њиховог утицаја на опште задовољство становањем у већим градовима.

Резултати овог истраживања указују да професионална управа стамбеним зградама у Србији није на потребном нивоу, будући да су станари задовољнији радом управника из сопствених редова. Резултат који говори да опште задовољство становањем зависи од квалитета и брзине решавања проблема, као и учесталости комуникације са управником може послужити као коректив у процесу организације рада, дизајнирању понуде услуга и обуци кадра у компанијама које се у Србији баве професионалним управљањем зградама.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Ammar, S. M. S., Ali, K. H., & Yusof, N. (2012). Effect of Residents' Participation in Management Works on Satisfaction in Multi-Storey Housing. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 62, 837–843. doi:10.1016/j.sbspro.2012.09.141

[2] Awotona, A. (1990). Nigerian government participation in housing: 1970–1980. Habitat International, 14(1), 17–40. doi:10.1016/0197-3975(90)90015-s

[3] Buckenberger, C. (2009), „Housing qualities in suburban Auckland“, Proceedings of Asia Pacific Network of Housing Research (APNHR), (ur. Randolph, B., Burke, T., Hulse, K., Milligan, V.), Conference and Australasian Housing Researchers Conference (AHRC), Sydney, Australia.

[4] Clapham D, (1997) „The Social Construction of Housing Management Research“, Urban Studies, Vol. 34, Nos 5-6, 761-774

[5] Kemp P. A, (1995), „Researching Housing Management Performance“, Urban Studies, Vol. 32, Nos 4-5, 779-790

[6] Hegedus, J., Mark, K.,(1994), „Tenant satisfaction with public housing management: Budapest in transition“, Housing Studies,Vol. 9, Issue 3

[7] Jiboye, A. D. (2009). Evaluating Tenants' Satisfaction with Public Housing in Lagos, Nigeria. Town Planning and Architecture, 33(4), 239–247. doi:10.3846/13921630.2009.33.239-247

[8] Levy, D., Perkins, H. C., & Ge, D. (2019). Improving the management of common property in multi-owned residential buildings: lessons from Auckland, New Zealand. Housing Studies, 1–25. doi:10.1080/02673037.2018.1563672

[9] Yau, Y. (2011), "Homeowners' participation in management of multi-storey residential buildings: The Hong Kong's case", Property Management, Vol. 29 No. 4, pp. 345-356. https://doi.org/10.1108/02637471111154791

[10] Yosof, N., Abdullah, S., & Najib, N. 'Ulyani M. (2014), „How does communication influence the perceived performance of maintenance services in multi-storey public housing?“ International Journal of Strategic Property Management, 18(4), 380–392.

[11] Планојевић Нина, (2019), „Изабрани управник стамбене зграде у новим српским прописима“, Зборник радова „Слобода пружања услуга и правна сигурност", Крагујевац, (стр. 449-467) DOI: 10.46793/XVMajsko.449P

[12] Закон о становању и одржавању зграда, "Службени гласник РС", бр. 104 од 23. децембра 2016, 9 од 4. фебруара 2020.

[13] https://www.kamatica.com/vest/lose-stanje-zgrada-i-slaba-naplata-glavni-problemi/57325

[14] https://katastar.rgz.gov.rs/StambeneZajednice/?&LanguageID=1

[15] https://usluge.pks.rs/portal/registar-upravnika-zgrada

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ЗНАЧАЈ ИНФРАСТРУКТУРНИХ ПРОЈЕКАТА ЗА РАЗВОЈ ТУРИСТИЧКИХ ДЕСТИНАЦИЈА

# THE IMPORTANCE OF INFRASTRUCTURE PROJECTS FOR THE DEVELOPMENT OF TOURIST DESTINATIONS

БОБАН ЂУРОВИЋ[1],

[1] Општина Врњачка Бања, Врњачка Бања, boban.d.djurovic@gmail.com

---

***Резиме:*** *Степен и квалитет инфраструктуре се истиче као релевантна детерминанта укупне туристичке тражње. Да ли ће се конкретна туристичка дестинација идентификовати као конкурентна и као таква генерисати тражњу, често зависи од квалитета и развијености саобраћајне, комуникационе, комуналне и друге инраструктуре. Како би се повећала конкурентност туристичких дестинација и оне укључиле у домаћу и међународну туристичку понуду, од значаја је планирање и имплементација различитих инфраструктурних пројеката. У том погледу се као најбитнији истичу прво пројекти у области саобраћаја, који омогућавају међусобно повезивање туристичких дестинација. Потом се као релевантни јављају пројекти у области комуникационе, комуналне, енергетске и друге инфраструктуре, који утичу на атрактивност и конкурентност туристичке дестинације. Имајући у виду наведено, циљ овог рада је утврђивање значаја инфраструктурних пројеката у развоју туристичких дестинација.*

***Кључне речи:*** *инфраструктурни пројекти, туризам, туристичке дестинације.*

***Abstract:*** *The level and quality of infrastructure stand out as relevant determinants of overall tourist demand. Whether a specific tourist destination will be identified as competitive and generate demand often depends on the quality and development of traffic, communication, communal, and other infrastructure. In order to increase the competitiveness of tourist destinations and include them in the domestic and international tourism market, it is important to plan and implement various infrastructure projects. In this regard, the primary focus is on projects in the area of transportation, which facilitate the interconnectivity of tourist destinations. Additionally, projects in the fields of communication, communal services, energy, and other infrastructure play a crucial role in enhancing the attractiveness and competitiveness of tourist destinations. Considering the aforementioned factors, the aim of this paper is to determine the significance of infrastructure projects in the development of tourist destinations..*

***Keywords:*** *infrastructure projects, tourism, tourist destinations.*

---

## 1. УВОД

Као социјално - економски феномен и најбитнији сектор у оквиру услужне делатности, туризам је временом постао веома значајна привредна активност, која у значајној мери доприноси укупном светском бруто домаћем производу. Осим тога што представља акцелератор привредног раста бројних држава у свету, туризам је уједно и битан генератор укупне запослености и девизног прихода [10]. Према последњим подацима Светског економског форума, туризам је на крају 2022. године допринео са 10,3% укупном светском бруто домаћем производу и генерисао је 333 милиона радних места [11]. С обзиром на наведено, јасно је да је у наредном периоду потребно уложити посебне напоре у циљу даљег развоја туристичке делатности, услед бројних позитивних економских последица које могу настати.

С обзиром на бројне природне и антропогене ресурсе, Република Србија може у наредном периоду да се издвоји као туристичка дестинација, која ће своје компаративне предности искористити за стварање конкурентне туристичке понуде, посебно атрактивне за иностране туристе. Полазећи од ставова реномираних светских организација у домену туризма, у наредном периоду ће посебан значај имати одрживи видови туризма, а специфичне природне и ресурсне одлике Републике Србије могу управо обезбедити добре резултате на туристичком тржишту [1]. У том домену је посебно потребно обратити пажњу на инфраструктуру конкретне туристичке дестинације, али и читаве земље [7]. Као интегрални део туристичке активности, инфраструктура обухвата саобраћајну мрежу, комуналне, енергетске, комуникационе, као и све друге системе који треба да омогуће долазак до конкретне туристичке дестинације и боравак у њој, као и ефективно повезивање туристичке дестинације са другим дестинацијама и институцијама на тржишту [9]. Наравно, развој инфраструктуре није једноставан процес, услед чега се подразумева постојање специфичних пројеката, који су обично под менаџментом јавних организација, али и специфичних субјеката на туристичком тржишту. Имајући у виду наведено, *циљ овог рада* представља утврђивање значаја инфраструктурних пројеката у развоју туристичких дестинација.

## 2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Инфраструктура представља круцијални елемент укупног туристичког развоја, који треба да омогући ефикасно повезивање туристичких дестинација у региону, као и ефективну реализацију основних услуга од стране туристичких организација [9]. С обзиром на наведено, велики број туристичких организација самостално, или уз подршку јавних организација, посебно оних у области туризма, иницира развој многобројних инфраструктурних пројеката различитог типа. Основни циљ је унапредити инфраструктуру туристичких дестинација, како би домаћи и инострани туристи могли без потешкоћа посетити исте и боравити у њима.

Као основа туристичког развоја, инфраструктура олакшава реализацију и дистрибуцију туристичких услуга [3]. Управо и Светски економски форум препознаје инфраструктуру као један од стубова ефикасне реализације туризма, при чему је акценат дат авио инфраструктури (како би се задовољиле потребе иностраних туриста и дестинација укључила у међународно туристичко тржиште), саобраћајној инфраструктури (железничком и друмском саобраћају) и туристичкој инфраструктури (хотели, ресторани, банке, рент-а-кар и друге организације) [10]. С обзиром на наведено, укупна инфраструктура у туризму обухвата све видове транспорта, финансијски сектор, јавне услуге, здравствене организације, угоститељске и туристичке организације [3,9]. Једна од општих подела инфраструктуре у туризму подразумева три типа инфраструктуре [1,7]:

- Транспортна инфраструктура, која обухвата авио, друмски, железнички, водени и други саобраћај;
- Социјална инфраструктура, која обухвата смештајне капацитете, музеје, галерије, спортске терене, споменике културе, манифестације, историју и културу дестинације, као и друге капацитете дизајниране за потребе одмора, забаве и рекреације;
- Инфраструктура животне средине, која обухвата флору и фауну, националне паркове и бројне друге природне ресурсе којима располаже дестинација.

Развој инфраструктурних пројеката, сходно претходно наведеном, може подразумевати бројне програме и стратегије, дизајниране са циљем оснаживања туристичког региона. Отуда у иницирању и финансирању таквих пројеката учествују, поред туристичких организација и надлежне јавне институције. Примат је дат развоју пројеката у области саобраћајне инфраструктуре, будући да је циљ најпре обезбедити олакшан долазак домаћих и иностраних туриста до конкретне дестинације. Потом се значај даје и пројектима у области комуникационе инфраструктуре, са циљем да се омогући ефективна размена информација између туристичке дестинације, њених субјеката и туриста. Не сме се изоставити ни развој пројеката у области комуналне и енергетске инфраструктуре, чији је задатак да омогуће несметано функционисање и атрактивност туристичке дестинације [2]. У савременим условима обавезно треба узети у обзир пројекте у области информационе и комуникационе технологије и дигитализације туристичке делатности. Дигитална трансформација олакшава домаћим и иностраним туристима долазак до информација у погледу садржаја, квалитета и структуре понуде у туристичкој дестинацији. На тај начин штеди се време и употреба других ресурса приликом избора дестинације. Истовремено, субјекти у туристичким дестинацијама лако долазе до информација о преференцијама туриста, на основу којих могу редизајнирати или креирати нову туристичку понуду, која је прилагођена њиховим потребама и која ће као таква максимизирати искуство и обезбедити добре пословне перформансе [12].

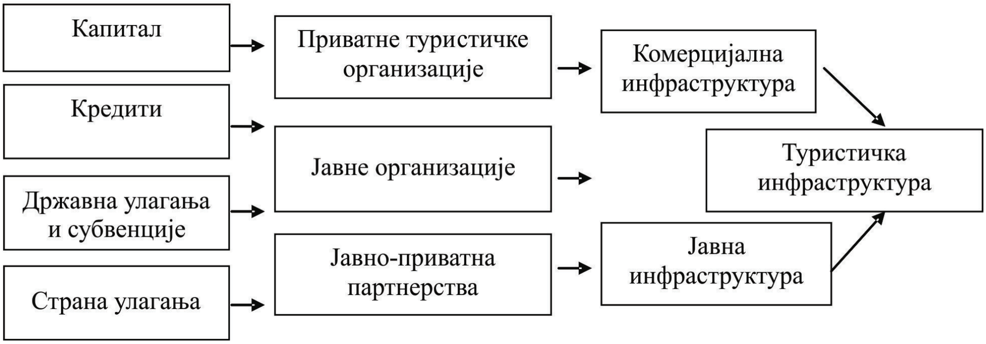
С обзиром на претходно наведено, значај инфраструктурних пројеката у сектору туризма може бити посматран и из перспективе утицаја на тражњу за самим туристичким услугама. Туристи могу одлуке о посети одређене дестинације формирати управо на основу развијености и квалитета саме инфраструктуре у дестинацији, посебно када је реч о транспорту, односно саобраћају [2]. Управо ово је сигнал креаторима и финансијерима инфраструктурних пројеката да се они морају најпре развијати у домену саобраћаја, јер је задатак обезбедити ефикасан долазак до конкретне туристичке дестинације. Посебно треба унапредити саобраћајну инфраструктуру у оним дестинацијама које обилују квалитетним и јединственим природним и антропогеним ресурсима, који могу привући велики број туриста. Паралелно са саобраћајним, треба развијати и комуникациону инфраструктуру, која ће омогућити ефикасну комуникацију свих јединствених вредности, атракција, потенцијала и могућности конкретне дестинације, односно њених природних и антропогених реурса [7].

Планирање и имплементација инфраструктурних пројеката у области туризма мора бити засновано на следећим елементима [8]:

- просторно и урбанистичко планирање саобраћајне мреже, телекомуникационог система, електро и водоснабдевања,
- развој туристичке инфраструктуре, која подразумева развој објеката за смештај, исхрану, забаву, едукацију, уживање, рекреацију, унапређење здравља, велнес, предах и авантуру,
- развој туристичке супраструктуре, која обухвата објекте у сектору угоститељства, музеје, галерије, спортске терене и све друге организације које су непосредно повезане са туризмом,
- очување животне средине,
- очување културно - историјског наслеђа и
- промоцију туристичке понуде.

Како би се унапредила понуда туристичких дестинација, потребно је, као што је претходно наведено, најпре развијати саобраћајну инфраструктуру у главним туристичким центрима и дестинацијама које обилују јединственим природним и антропогеним ресурсима. У оквиру популарних туристичких дестинација, или оних које имају потенцијала да то постану, неопходно је унапредити комуналну инфраструктуру, а потом унапредити саму туристичку инфраструктуру. Треба водити рачуна да се развој пројеката мора одвијати у складу са ресурсним карактеристикама и могућностима саме дестинације. Другим речима, не сме се остварити унапређење инфраструктуре на начин да се деградирају и униште постојећи природни и антропогени ресурси [1].

Наводи се податак да готово 78% свих пројеката у туризму финансирају приватне туристичке организације. Овај податак је свакако релевантан ако се ради о изградњи нових хотела, угоститељских објеката, забавног садржаја и слично. Међутим, изградња великих пројеката, као што су они у области саобраћаја, телекомуникација и комуналне делатности, нужно захтева финансијску и експертску помоћ надлежних јавних институција [3]. Имајући у виду елементе и субјекте финансирања инфраструктурних пројеката у туризму, од користи је сагледати Слику 1 у наставку текста.



**Слика 1:** Ентитети и субјекти финансирања инфраструктурних пројеката у туризму

Посматрајући Слику 1, стиче се закључак да капитал за финансирање инфраструктурних пројеката могу најпре обезбедити комерцијалне организације у сектору туризма. То су најпре приватне туристичке организације, а потом и јавне организације које посредно или непосредно учествују у туристичкој активности. Финансирање пројеката се може извршити приватним и јавним кредитима, субвенцијама и државним улагањима, као и приливом страног капитала. Приватне и јавне организације самостално, или путем партнерске сарадње, обезбеђују најпре јавну инфраструктуру (саобраћајна, телекомуникациона, комунална и друга инфраструктура), а онда и комерцијалну инфраструктуру (попут хотела, ресторана, организација за забаву, одмор, рекреацију и других организација у сектору туризма). Заједно, наведени типови инфаструктуре детерминишу укупну туристичку инфраструктуру и истовремено атрактивност туристичке дестинације.

Како би ефекти од развоја инфраструктурних пројеката у туризму обезбедили максималну корисност, потребно је обезбедити начела одрживог развоја, посебно ако се ради о туристичкој дестинацији која обилује јединственим природним атракцијама и културно - историјским наслеђем. Другим речима, потребно је обезбедити баланс два међусобно супротстављена циља: максимална презервација природних ресурса с једне стране и развој туристичке инфрастуктуре која ће омогућити пружање туристичких услуга и стварање економских резултата, с друге стране [6]. Услед наведеног, инфраструктурни пројекти у туризму захтевају постојање мултидисциплинарних тимова различите експертизе, који поред свега осталог, поседују и знања у области одрживог развоја и одрживог туризма. Путем континуиране комуникације, ови експерти пројектантима, инжињерима и другим стручњацима који управљају пројектима, морају обезбедити стручне информације и смернице у погледу тога како спроводити пројектне активности на начин да се оствари одрживост туристичке дестинације [5]. Једино на тај начин инфраструктурни пројекти могу обезбедити развој туристичке дестинације и позитивне ефекте од туризма, али тако што ће се обезбедити очување и унапређење природних и антропогених ресурса [4], односно баланс економских, социјалних и еколошких концепата одрживог развоја туристичке дестинације.

## 3. ЗАКЉУЧАК

Као најбитнија услужна делатност, туризам обезбеђује значајан позитиван ефекат на укупни економски резултат бројних држава света, доприносећи у значајној мери бруто домаћем производу и запослености. Услед наведеног, потребно је унапредити садржај туристичке понуде и развијеност самих туристичких дестинација, што захтева развој специфичних пројеката.

Инфраструктурни пројекти се истичу као релевантан фактор који може иницирати туристичку тражњу. Најпре се морају споменути инфраструктурни пројекти у области саобраћаја, јер је потребно обезбедити туристима да ефикасно дођу до жељених туристичких дестинација и садржаја у оквиру њих. Инфраструктурни пројекти у овом домену обезбеђују међусобну повезаност туристичких дестинација, као и укључивање конкретне туристичке дестинације у укупну домаћу и међународну туристичку понуду. Осим саобраћајне, посебан значај имају и пројекти у области комуникација и информационих технологија, чији је задатак ефективно комуницирање информација повезаних са понудом и туристичким дестинацијама. Дигитална трансформација минимизира напоре туриста приликом претраге и избора туристичких дестинација, али истовремено обезбеђује субјектима унутар тих дестинација долазак до информација о преференцијама туриста. Када је реч о комуналним, енергетским и другим пројектима, они заједно са свеукупном туристичком инфраструктуром, која обухавата капацитете за смештај, исхрану, одмор и забаву, делује на атрактивност читаве дестинације. Неки од ових пројеката, као на пример последње наведена туристичка инфраструктура, развија се и финансира од стране приватних туристичких организација. Ипак, у том домену су могућа и јавно - приватна партнерства, посебно ако надлежне јавне организације у туризму препознају туризам као фактор економског развоја. У сваком случају, други пројекти у туризму, попут оних у области саобраћаја, комуникација, комуналних система и слично, услед комплексности и вредности, захтевају значајну улогу јавних организација.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Čerović, S., Barjaktarović, D. и Knežević, M. (2015). Podrška razvoju turizma kao faktor konkurentnosti Srbije kao turističke destinacije. *SITCON 2015 - Key issues on tourism destination competitiveness*, Univerzitet Singidunum, Beograd, 1-8.

[2] Das, S.K. и Nakar, K. (2018). Nexus between infrastructure and tourism development. *Socioeconomic Chalenges*, 2(2), 6-12.

[3] Jovanović, S. и Ilić, I. (2016). Infrastructure as important determinant of tourism development in the countries of Southeast Europe. *Ecoforum*, 5(1-8), 288-294.

[4] Lukić, B., Protić, B., Šećerov, V., Belij Radin, M., Popović, V., Gatarić, D. и Milićević, K. (2022). Tourism Infrastructure in the function of sustainable tourism development: The case study of the city of Kruševac, Republic of Serbia. *6th International Thematic Monograph: Modern Management Tools and Economy of Tourism Sector in Present Era*, Association of Economists and Managers of the Balkans, Belgrade, 289-313.

[5] Maslovskaia, O., Kopeva, A., Petrova, E., Ivanova, O. и Krapko, O. (2020). Development of ecotourism infrastructure at protected areas of Primorsky Krai. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 890, 1-6.

[6] Miloradov, K. и Eidlina, G. (2018). Analysis of tourism infrastructure development projects in the context of “green economy”. *European Research Studies Journal*, 21(4), 20-30.

[7] Nguyen, Q.H. (2021). Impact of investment in tourism infrastructure development on attracting international visitors: a nonlinear panel ARDL approach using Vietnam’s data. *Economies*, 9(131), 1-19.

[8] Пинџо, Р. и Кнежевић, М. (2021). *Приручник за планирање развоја туризма у јединицама локалне самоуправе*. Стална конференција градова и општина, Београд.

[9] Seetenah, B., Juwaheer, T.D., Lamport, M.J., Rojid, S., Sannassee, R.V. и Subadar Agathee, U. (2011). Does infrastructure matter in tourism development? *University of Mauritius Research Journal*, 17, 89-108.

[10] World Economic Forum. (2022). Travel & tourism development Index 2021. Rebuilding for a sustainable and resilient future. World Economic Forum, Geneva.

[11] World Economic Forum. (2022). *Travel & tourism economic impact 2022*. World Economic Forum, Geneva.

[12] Yan, G., Zou, L., Liu, Y. и Ji, R. (2022). How does new infrastructure impact the competitiveness of the tourism industry? - Evidence from China. *PlosOne*, 17(12), 1-16.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# PRODUCTION MENAGEMENT

EDEH CHUKWUEBUKA PAUL[1], OSADIAYE PATIENCE EJOMAFUWE[2]

[1] Brewing Sciences Department, Lead City University, Osun Nigeria, edeh112@hotmail.com
[2] Brewing Sciences Department, Lead City University, Osun Nigeria, julyvee40@gmail.com

***Abstract:*** *This paper presents a case study on production management in the competitive beverage industry, focusing on Guinness Nigeria. It explores key strategies like lean production, TQM, technology adoption, and supply chain management, along with challenges faced, including unreliable power supply and quality maintenance. The study showcases empirical evidence of TQM implementation, leading to improved product quality, operational efficiency, and customer satisfaction. The analysis highlights the importance of quality planning, rigorous control, continuous improvement, and supplier management. Additionally, the paper identifies opportunities for Guinness Nigeria, such as market expansion, sustainable practices, and digital technology utilization for optimization and innovation.*

***Keywords:*** *Brewing Industry, Digital Transformation, Guinness Nigeria, Lean Production, Market Expansion, Production Management, Supply Chain Management, Sustainable Manufacturing, Technology Adoption, Total Quality Management.*

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# SHADOW IT КАО ИЗВОР ИНОВАЦИЈА У ОРГАНИЗАЦИЈАМА

# SHADOW IT AS A SOURCE OF INNOVATION IN ORGANIZATIONS

ЛЕНА ЂОРЂЕВИЋ МИЛУТИНОВИЋ[1], ЛАЗАР РАКОВИЋ [2], РАДУЛ МИЛУТИНОВИЋ [1],
СЛОБОДАН АНТИЋ [1], БИЉАНА СТОШИЋ[1]

[1] Универзитет у Београду – Факултет организационих наука, Београд,
djordjevic.milutinovic.lena@fon.bg.ac.rs, radul.milutinovic@fon.bg.ac.rs, slobodan.antic@fon.bg.ac.rs,
biljana.stosic@fon.bg.ac.rs
[2] Универзитет у Новом Саду – Економски факултет у Суботици, Суботица, lazar.rakovic@ef.uns.ac.rs

---

***Резиме:*** *У раду се разматра феномен Shadow IT као извор иновација у предузећима. Shadow IT се односи на употребу хардвера, софтвера, решења и услуга из области информационих технологија (ИТ) унутар организације без знања или одобрења ИТ одељења. Циљ истраживања је идентификовање и класификација предности и изазова феномена Shadow IT, и дефинисање смерница које је неопходно узети у разматрање приликом креирања стратегије за управљање иновацијама које произлазе из такве праксе. У складу са дефинисаним циљем, спроведен је систематски преглед литературе. На основу прегледа литературе, анализирани су позитивни и негативни ефекти овог феномена у контексту иновација. Резултати рада представљају полазну основу за даља истраживања у овој области, као и смернице компанијама и запосленима задуженим за иновације.*

***Кључне речи:*** *Shadow IT, управљање иновацијама, преглед литературе.*

***Abstract:*** *This paper explores the phenomenon of Shadow IT as a source of innovation in organizations. Shadow IT refers to the use of hardware, software, solutions, and services from the field of information technology (IT) within an organization without the knowledge or approval of the IT department. The aim of the research is to identify and classify the advantages and challenges of Shadow IT, to define guidelines that need to be considered when creating a strategy for innovation management arising from such practices. Considering defined objectives, a systematic literature review is conducted. Based on the literature review, the positive and negative effects of this phenomenon in the context of innovation were analyzed. The findings of the paper represent a starting point for further research in this area, as well as guidelines for companies and employees in charge of innovation.*

***Keywords:*** *Shadow IT, innovation management, literature review.*

---

## 1. УВОД

*Shadow IT* се односи на коришћење неауторизованог софтвера или хардвера од стране запослених унутар организација без одобрења или надзора ИТ одељења. Овај појам описује ситуације у којима запослени користе неодобрене или неовлашћене технолошке алате или софтверска решења за обављање својих пословних активности. Иако је *Shadow IT* најфреквентнији, у литератури постоје бројни термини којима се описују исте или сличне појаве, као што си: *Shadow Systems, Shadow sourcing Roque IT, Workarounds, Grey IT, Unnoffical IT, Feral Systems, Feral practices, Bolt-on Systems, End User Development, Citizen development, End User Computing, Hidden IT*, *Un-enacted Project*, итд. [16]. *Shadow IT* представља изазов са којим се суочавају одељења информационих технологија (ИТ), али и менаџмент компанија. У складу са рапидним развојем дигиталног окружења, који нема тенденцију заустављања већ више деценија [21], запослени често траже иновативне алате и технологије како би повећали продуктивност и задовољили своје специфичне потребе. Због тога, паралелно са званичном ИТ инфраструктуром у већини организација са њом коегзистира такозвани *Shadow IT*. Конзумеризација ИТ-а и рачунарства у облаку додатно су подстакли коришћење *Shadow IT* у организацијама, истовремено изазивајући сигурносне ризике за ИТ одељење [4]. Питања усклађености, неконзистентне пословне логике, повећаног ризика од губитка или цурења података, интегритет података, итд. само су неки од потенцијалних ризика, који могу имати озбиљне последице по безбедност информација организације [27]. Међутим, поред идентификованих ризика, *Shadow IT* може представљати извор иновација у организацијама које одлуче да овим феноменом управљају на начин који ће им донети корист.

Континуирани развој мрежа, платформи и дигиталне технологије намеће нове детерминанте конкурентности компанија. У сладу са тиме, предузећа развијају иновативне и одрживе стратегије као одговор на бројне захтеве тржишта. Имплементација и примена ових стратегија подразумева унапређење или развој потребних информационих система [22]. Услед бројних ограничења (време, новац, привилегије, надлежности, итд.), ИТ одељење не иновира брзином која је потребна пословним јединицама, и не може подржати њихове информационе захтеве, због чега долази до јаза у комуникацији између њих, а последично и ИТ решења и крајњег корисника. Овај недостатак усклађености између пословних и ИТ структура у компанијама ствара прилику, или изазива потребу, за крајње кориснике да попуне празнину, и истовремено иницирају и развију иновацију.

Студије на тему информационих технологија у сенци у контексту иновација су недовољно заступљене. Ово је нарочито изражено у Србији, у којој ни сам термин *Shadow IT*, као и бројни синоними или термини који описују сличне феномене чак нису ни препознати и усвојени. У ери дигитализације, конзумеризације ИТ, иновација и стартапова то је неопходно променити. Сходно томе, циљ рада је да се путем систематичног прегледа литературе укаже на постојање релације између феномена *Shadow IT* и иновација, те да се анализом одабраних радова прикажу могућности и изазови управљања иновацијама иницираним *Shadow IT* феноменом.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА

У складу са постављеним циљем истраживања спроведен је систематичан преглед литературе према методологији коју су поставили *Xiao* и *Watson* [29]. У иницијалном кораку су претражене цитатне базе *Web of Science* и *Scopus* према кључним речима “Shadow IT” и “innovation”. Затим су анализирани наслови, кључне речи и апстракти. У даљу анализу је укључено по осам радова из обе базе. Након искључивања дупликата и спроведеног *forward* и *backward* истраживања за даљу анализу је изабрано укупно 26 радова (Табела 1).

**Табела 1:** Радови идентификовани систематичним прегледом литературе

| Р.б. | Реф. | Год. | Методологија | Публикација |
|---|---|---|---|---|
| 1 | [8] | 2021 | Систематичан преглед литературе | Конференција |
| 2 | [9] | 2019 | Интервју | Часопис |
| 3 | [11] | 2021 | Интервју | Часопис |
| 4 | [14] | 2021 | Студија случаја | Конференција |
| 5 | [15] | 2022 | Систематски преглед литературе | Часопис |
| 6 | [17] | 2020 | Интервју | Часопис |
| 7 | [19] | 2016 | Интервју | Конференција |
| 8 | [1] | 2022 | Систематски преглед литературе | Часопис |
| 9 | [5] | 2014 | Студија случаја | Часопис |
| 10 | [25] | 2016a | Студија случаја, интервју и фокус групе | Конференција |
| 11 | [27] | 2019 | Студија случаја | Часопис |
| 12 | [28] | 2017 | Систематични преглед литературе и интервју | Часопис |

|  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|
| 13 | [30] | 2014 | Вишеструка студија случаја | Конференција |
| 14 | [18] | 2017 | Интервју | Конференција |
| 15 | [21] | 2016 | Преглед литературе | Часопис |
| 16 | [10] | 2012 | Триангулациони приступ | Конференција |
| 17 | [24] | 2019 | Студија случаја и интервју | Часопис |
| 18 | [7] | 2021 | Анализа података о коришћењу ИТ ресурса | Часопис |
| 19 | [26] | 2016b | Студија случаја, интервју и фокус групе | Часопис |
| 20 | [31] | 2016 | Анализа података о коришћењу ИТ ресурса | Конференција |
| 21 | [6] | 2021 | Студија случаја | Часопис |
| 22 | [3] | 2017 | Анализа података о коришћењу ИТ ресурса и студ. случаја | Часопис |
| 23 | [23] | 2012 | Анализа података о коришћењу ИТ ресурса | Конференција |
| 24 | [20] | 2022 | Преглед литературе | Конференција |
| 25 | [13] | 2021 | Систематски преглед литературе | Конференција |
| 26 | [12] | 2019 | Анализа података о коришћењу ИТ ресурса | Часопис |

Анализа утицаја *Shadow IT*-а на иновације укључује различите методе и приступе примењене за разумевање везе између ове две појаве, од којих су најзаступљенији: анкете и упитници, интервјуи, студије случаја, анализа података о коришћењу ИТ ресурса и преглед литературе. Наведене методе и приступи се често комбинују како би се добио свеобухватан увид у утицај *Shadow IT*-а на иновације, узимајући у обзир различите перспективе и контексте организација. Приступ је важно прилагодити специфичним циљевима истраживања и расположивим ресурсима.

## 3. *SHADOW IT* КАО ИЗВОР И РЕЗУЛТАТ ИНОВАЦИЈА

*Shadow IT* може бити резултат настојања запослених да пронађу нове, иновативне алате и технологије које могу побољшати њихову продуктивност, ефикасност и радне процесе. На тај начин овај феномен постаје извор нових идеја и решења која се могу применити у организацији. Ова повезаност може имати позитиван или негативан утицај на организациону иновативност и агилност [3]. Употреба неауторизованог софтвера и хардвера од стране запослених може бити резултат потребе за новим и иновативним технолошким решењима. *Shadow IT* некада настаје као резултат недостатка подршке званичног ИТ система у пружању адекватних алата и технологија за потребе запослених [18], и на тај начин постаје покретачка снага за идентификацију и имплементацију иновација у организацији.

Недовољна подршка иновацијама, такође, се јавља као један од узрока појаве *Shadow IT*. Ограничени ресурси, временски притисци и недовољно флексибилне политике ИТ одељења могу инхибирати иновације унутар организације. Организациона култура има значајан утицај на иновације, посебно када је у питању прихватање нових идеја и експериментисање са алтернативним технологијама [2].

*Shadow IT* се може тумачити као иновативна пракса, која представља и могући извор нових, креативних идеја, технологија и процеса унутар организације. Организације треба да препознају и подрже ову иновативну праксу, стварајући канале за размену идеја и подршку за експериментисање са новим технологијама. Реализација иновација развојем и коришћењем *Shadow IT* решења представља један од потенцијално позитивних аспеката ове праксе.

Анализом радова приказаних у Табели 1, извршено је груписање кључних позитивних ефеката феномена *Shadow IT* на иновације. Ове категорије могу послужити као смерница приликом идентификовања типа иновација проистеклих из ИТ пракси "из сенке":

- Алтернативна решења: Запослени који користе *Shadow IT* често проналазе алтернативна решења која унапређују процес или испуњавају специфичне потребе које званични информациони систем не покрива. Ова алтернативна решења могу бити иновативна и донети нове начине обављања посла.

- Унапређење ефикасности: *Shadow IT* може резултирати идентификацијом технологија или алата који помажу запосленима да буду ефикаснији и продуктивнији. На пример, коришћење одређеног софтвера или апликације може аутоматизовати рутинске задатке, смањити време потребно за обављање одређених послова и побољшати укупну ефикасност тимова.
- Иновативна пракса: *Shadow IT* може бити извор иновативних пракси које се могу проширити на организацију у целини. Запослени који развијају и користе *Shadow IT* често експериментишу са новим технологијама и приступима, што може довести до развоја нових метода рада, пословних модела или унапређења постојећих процеса.
- Потенцијал за организациони развој: Откривање иновација на основу *Shadow IT* решења може допринети организационом развоју. Када се препозна вредност и корист одређеног алата или технологије настале "у сенци", организација може усвојити та решења и интегрисати их у своје формалне ИТ процесе, чиме се подстичу иновације на организационом нивоу.

У складу са претходно приказаном категоризацијом ефеката, може се закључити да *Shadow IT* подстиче различите типове иновација у предузећу, и то, (1) иновације производа/услуга, ако се подстиче развој нових технолошких решења или врши примена постојећих технологија на нове начине; (2) иновација процеса, ако се тим решењима подстиче креирање нових процеса и начина рада који побољшавају ефикасност, продуктивност или квалитет пословања и (3) иновација организације, уколико се подстичу промене у структури, култури и начину функционисања предузећа.

## 4. ИЗАЗОВИ И РИЗИЦИ ИНОВАЦИЈА ПОДСТАКНУТИХ *SHADOW IT* ФЕНОМЕНОМ

Као што је приказано у претходном поглављу *Shadow* IT може утицати на појаву различитих типова иновација, али, истовремено, може подстицати и изазове у погледу сигурности, усклађености и управљања пословањем. Стога је важно препознати и управљати тим изазовима како би се максимизирали потенцијали иновација које доноси *Shadow IT*. Неки од негативних аспеката које *Shadow IT* може имати у контексту иновација, препознати анализом радова приказаних у Табели 1, су:

- Сигурносни ризици: неодобрена технологија или софтвер "отварају врата" за потенцијалне нападе, цурење података или злоупотребу информација. Недостатак контроле и сигурносних мера угрожава интегритет и поверљивост података.
- Недостатак усклађености: ризик неусклађености са интерним и екстерним правилима, прописима и стандардима које предузеће мора поштовати. То може довести до правних и регулаторних проблема, као и санкција од стране надлежних тела.
- Недостатак подршке и одржавања: када се користи неодобрен софтвер или технологија, ИТ одељење може имати потешкоћа у пружању одговарајуће подршке, отклањању проблема и ажурирању. То може довести до смањења продуктивности и ефикасности.
- Фрагментација ИТ инфраструктуре: различити тимови или појединци могу користити различите алате и технологије, што отежава интеграцију, сарадњу и дељење информација. То може смањити ефикасност пословања и отежати иновације које захтевају интегрисани приступ.
- Недостатак транспарентности и контроле може отежати праћење, управљање и планирање ИТ ресурса, што може утицати на ефикасност, буџетирање и стратегију иновација.
- Финансијски ризици: коришћење неодобрених технологија и софтвера може довести до непредвиђених трошкова. Лиценце, претплате или имплементација нових алата могу бити ван буџета организације.

Да би се превазишли негативни аспекти, предузеће мора применити адекватно управљање *Shadow IT* феноменом. То може укључити успостављање јасних смерница за коришћење ИТ ресурса, едукацију запослених о ризицима, сарадњу између ИТ одељења и осталих делова организације, праћење, евалуацију и прилагођавање приступа управљања. Управљање *Shadow* IT-јем у контексту иновација захтева уравнотежен приступ који препознаје потенцијалне користи и ризике. Интеграција *Shadow IT* решења у организациону стратегију иновација може пружити могућност за откривање нових идеја, флексибилност и подршку за иновативне пројекте, уз истовремено одржавање одговарајуће сигурности и усклађености.

## 5. ЗАКЉУЧАК

У оквиру овог рада разматран је појам *Shadow IT* и анализиране су његове импликација на иновације у организацијама. С обзиром да ова тематика није довољно заступљена у Србији, додатна мотивација за ауторе била је популаризација и унапређење области, као и допринос даљем развоју теорије кроз утемељење и полазну тачку за будуће истраживаче. На основу систематичног прегледа литературе идентификоване су предности и изазови *Shadow IT*-ја у контексту иновација и анализирани су ефекти овог феномена на различите типове иновација.

*Shadow IT* може бити „мач са две оштрице“ у контексту иновација, са потенцијалом за подстицање иновација, али исто тако са ризицима и изазовима који захтевају пажљиво управљање. Предузећа морају разумети овај феномен како би искористила предности *Shadow IT*-ја у подстицању иновација, уз примену одговарајућих мера управљања, како би се смањили ризици и обезбедила сигурност и усклађеност. Решавање проблема *Shadow IT*-ја засновано је на унапређењу комуникације између ИТ одељења и пословних корисника, образовању и подизању свести о ризицима, као и прилагођавању ИТ политика и процеса набавке.

Даља истраживања на ову тему подразумевају спровођење примарног истраживања на територији Републике Србије, с обзиром да је број таквих истраживања на изразито незавидном нивоу. Додатно, анализом изабраних радова закључено је да су примењиване методе  углавном квалитативне природе и да постоји потенцијал за унапређење истраживања на ову тему применом техника моделирања структурних једначина. У контексту примене ових знања у пракси пожељно је дефинисати методолошки оквир и концептуални модел управљања *Shadow IT* феноменом, како би се ризици избегли, а иновације подстакле.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Bianchi, I. S., Vaquina, A., Pereira, R., Sousa, R. D., & Dávila, G. A. (2022). A Benefit Dependency Network for Shadow Information Technology Adoption, Based on Practitioners’ Viewpoints. *Informatics*, *9*(4), 95. https://doi.org/10.3390/informatics9040095

[2] Büschgens, T., Bausch, A., & Balkin, D. B. (2013). Organizational culture and innovation: A meta-analytic review. *Journal of product innovation management*, *30*(4), 763-781. https://doi.org/10.1111/jpim.12021

[3] Bygstad, B. (2017). Generative Innovation: A Comparison of Lightweight and Heavyweight IT. *Journal of Information Technology*, *32*(2), 180–193. https://doi.org/10.1057/jit.2016.15

[4] D’Arcy, P., & Marketing, L. E. (2011). CIO strategies for consumerization: The future of enterprise mobile computing. In *Dell CIO insight series* (pp. 1-15). Dell Inc.

[5] Fuerstenau, D., & Rothe, H. (2014). Shadow IT Systems: Discerning the Good and the Evil. *22nd European Conference on Information Systems (ECIS)*, 1–14.

[6] Fürstenau, D., Sandner, M., Rothe, H., & Anapliotis, D. (2016). Shadow IT, risk, and shifting power relations in organizations. In *22nd Americas Conference on Information Systems. AMCIS 2016: Surfing the IT Innovation Wave* (p. 1325). AIS Electronic Library (AISeL).

[7] Fürstenau, D., Rothe, H., & Sandner, M. (2021). Leaving the Shadow: A Configurational Approach to Explain Post-identification Outcomes of Shadow IT Systems. *Business & Information Systems Engineering*, *63*(2), 97–111. https://doi.org/10.1007/s12599-020-00635-2

[8] Godefroid, M.-E., Plattfaut, R., & Niehaves, B. (2021). IT Outside of the IT Department: Reviewing Lightweight IT in Times of Shadow IT and IT Consumerization. In F. Ahlemann, R. Schütte, & S. Stieglitz (Eds.), *Innovation Through Information Systems* (Vol. 48, pp. 554–571). Springer Int. Pub. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86800-0_39

[9] Gozman, D., & Willcocks, L. (2019). The Emerging Cloud Dilemma: Balancing innovation with cross-border privacy and outsourcing regulations. *Journal of Business Research*, *97*, 235–256. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.06.006

[10] Györy, A., Cleven, A., Uebernickel, F., & Brenner, W. (2012). Exploring The Shadows: IT Governance Approaches To User-Driven Innovation. *Euro. Conference on Information Systems*.

[11] Jarrahi, M. H., Reynolds, R., & Eshraghi, A. (2021). Personal knowledge management and enactment of personal knowledge infrastructures as shadow IT. *Information and Learning Sciences*, *122*(1/2), 17–44. https://doi.org/10.1108/ILS-11-2019-0120

[12] Junglas, I., Goel, L., Ives, B., & Harris, J. (2019). Innovation at work: The relative advantage of using consumer IT in the workplace. *Information Systems Journal*, *29*(2), 317–339. https://doi.org/10.1111/isj.12198

[13] Käss, S., Godefroid, M., Borghoff, V., Strahringer, S., Westner, M., & Plattfaut, R. (2021). Towards a Taxonomy of Concepts Describing IT Outside the IT Department. *Australasian Conference on Information Systems 2021.*

[14] Keskin, B., Ozkan, N., Bulut, K. N., Gok, M. S., & Ozer, G. (2021). Domesticating a Treasury Shadow IT Application in a Turkish Bank. *2021 2nd International Informatics and Software Engineering Conference (IISEC)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/IISEC54230.2021.9672431

[15] Klotz, S., Kopper, A., Westner, M., & Strahringer, S. (2022). Causing factors, outcomes, and governance of Shadow IT and business-managed IT: a systematic literature review. *International Journal of Information Systems and Project Management*, *7*(1), 15–43. https://doi.org/10.12821/ijispm070102

[16] Kopper, A., & Westner, M. (2016). *Towards a Taxonomy for Shadow IT*. Twenty- second America s Conference on Information Systems, San Diego.

[17] Kopper, A., Westner, M., & Strahringer, S. (2020). From Shadow IT to Business-managed IT: a qualitative comparative analysis to determine configurations for successful management of IT by business entities. *Information Systems and E-Business Management*, *18*(2), 209–257. https://doi.org/10.1007/s10257-020-00472-6

[18] Kopper, A. (2017). Perceptions of IT Managers on Shadow IT. *Twenty-Third Americas Conference on Information Systems*, Boston.

[19] Mallmann, G. L., Maçada, A. C. G., & Oliveira, M. (2016). Can Shadow IT Facilitate Knowledge Sharing in Organizations? An Exploratory Study. *17th European Conference on Knowledge Management*, Brasil.

[20] Ohrimenco, S., & Valeriu, C. (2022). Shadow Digital Technologies Threats to National Security. *87th International Scientific Conference on Economic and Social Development,* Svishtov.

[21] Peppard, J. (2016). A tool to map your next digital initiative. *Harvard Business Review*.

[22] Rakovic, L., Duc, T. A., & Vukovic, V. (2020). Shadow it and ERP: multiple case study in German and Serbian companies. *Journal of East European Management Studies*, *25*(4),730-752. https://doi.org/10.5771/0949-6181-2020-4-730

[23] Rentrop, C., & Zimmermann, S. (2012). Shadow IT evaluation model. In *2012 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)* (pp. 1023-1027). IEEE.

[24] Richter, S., Waizenegger, L., Steinhueser, M., & Richter, A. (2019). Knowledge Management in the Dark. *International Journal of Knowledge Management*, *15*(2), 1–19. https://doi.org/10.4018/IJKM.2019040101

[25] Silic, M., Silic, D., & Oblakovic, D. (2016a). Shadow IT: Steroids for Innovation. In S. España, M. Ivanović, & M. Savić (Eds.), *E CAiSE'16 Forum at the 28th International Conference on Advanced Information Systems Engineering* (pp. 113–120).

[26] Silic, M., Silic, D., & Oblakovic, G. (2016b). Influence of Shadow IT on Innovation in Organizations. *Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly*, *8*, 68–80. https://doi.org/10.7250/csimq.2016-8.06

[27] Sillic, M. (2019). Critical impact of organizational and individual inertia in explaining non-compliant security behavior in the Shadow IT context. *Computers & Security*, *80*, 108–119. https://doi.org/10.1016/j.cose.2018.09.012

[28] Walterbusch, M., Fietz, A., & Teuteberg, F. (2017). Missing cloud security awareness: Investigating risk exposure in shadow IT. *Journal of Enterprise Information Management*, *30*(4), 644–665. https://doi.org/10.1108/JEIM-07-2015-0066

[29] Xiao, Y., & Watson, M. (2019). Guidance on Conducting a Systematic Literature Review. *Journal of Planning Education and Research*, *39*(1), 93–112. https://doi.org/10.1177/0739456X17723971

[30] Zimmermann, S., Rentrop, C., & Felden, C. (2014). Managing Shadow IT Instances—A Method to Control Autonomous IT Solutions in the Business Departments. *20th Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2014*.

[31] Zimmermann, S., Rentrop, C., & Felden, C. (2016). Governing Identified Shadow IT by Allocating IT Task Responsibilities. *Americas Conference on Information Systems*, San Diego.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# MODELING OF ETHNO NATIONAL INTERGROUP CONFLICTS RESOLVING

MIROSLAV MITROVIĆ[1]

[1] University of Defence in Belgrade – Strategic Research Institute, miroslav.mitrovic@mod.gov.rs

---

***Abstract:*** *Ethno-national conflicts are a feature of the globalized security environment after the Cold War. They especially marked the disintegration of the former communist multinational states. The conflicts created in this way have long-term destabilizing consequences for the regions and globally. They are difficult to resolve due to the specifics of the causes, initial events or processes, and participants (actors and participants). The paper deals with the determinants of ethnonational conflicts to optimize the model of their resolution. The paper offers models of analysis of conflict components and drivers of conflict. The modeling of the optimal solution was applied to the hypothetical model of the ethnonational intergroup conflict.*

***Keywords:*** *Ethno national conflicts, conflict drivers, modeling, conflict resolution.*

---

## 1. INTRODUCTION

Conflict can be defined as a sharp disagreement or opposition in terms of interests or ideas and includes a marked divergence of interests with the belief that the parties' current aspirations to the conflict cannot be realized simultaneously. [1] There are different forms of conflict (personal, interpersonal, and intragroup), and for analysis within this paper, we observe intergroup conflict. Intergroup conflict is between organizations, ethnic groups, warring nations, or homogeneous entities within fragmented communities. The characteristics of such conflicts are their complexity, multi-layered causes, and the probable presence of a third party involved. [2] Therefore, resolving such conflicts is the most complex. Intergroup conflicts have tremendous destructive potential. In his work, Levicki [3] sublimating the conclusions of previous research [4], [5] expressed the complexity and destructiveness of intergroup conflicts, which are expressed through:

Competitiveness: The existence of ultimate requirements and the zero-tolerance relationship between parties.

Misperception and bias: Ephesised intensity of the conflict produces a distortion of perception and subjective positioning of parties, rising of stereotypes and bias, and the expectancy of entities that support and reject entirely those who oppose them.

Strong emotion: This leads to the parties' anxiety, irritation, anger, and frustration. Emotions overwhelm clear and rational thinking.

Reduced communication: The parties communicate less or less with those who disagree with them and more with those who agree. The existing communication attempt to defeat, humiliate or expose the position of another and to strengthen one's previous arguments.

Blurred problems: The central issues become blurred and poorly defined with the escalation of generalization.

Firm commitments: The parties fixed on their positions become much more committed to their points of view and less willing to give up on them for fear of looking defeated and humiliated.

Increased differences, minimizing similarities: The factors that distinguish and separate them become emphasized, while the similarities become too simplified and minimized. This distortion leads the parties to believe that they are further away from each other than they are, which reduces the capacity to find a solution.

Conflict escalation: As the conflict progress, each side becomes more rigid in its views, less tolerant and communicative, and more emotional. Sides believe adding more pressure (resources, commitment, enthusiasm, energy) can force the other to capitulate and admit defeat.

Intergroup conflicts are not balanced and equal in terms of resolution difficulty. Several factors influence whether an integrative conflict is more manageable or more challenging to resolve. A framework for analyzing the severity of intergroup conflict can be found in Greenhalgh's [6] work, which identified the characteristics of easily and difficultly resolved conflicts based on conflict issues, interdependence, projection of relations, the cohesion of parties to the conflict, existence of an objective third party and balanced development of conflict resolution.

**Table 1**: Assessment of the degree of difficulty in resolving intergroup conflicts

| *Dimension* | *Hard resolving* | *Easy resolving* |
|---|---|---|
| Problem - A moot point | The question of ‘principles,' values, ethics, or precedent is vital. | A divisible issue, the problem can easily be divided into smaller parts |
| The size of the stakes, what can be won or lost | Big, huge consequences | Small, insignificant consequences |
| Interdependence of the parties, the degree to which the outcomes of one determine the outcomes of the other | Zero-sum - what one gains, the other loses | In positive-sum, both believe that both can do better than simply distributing current outcomes. |
| Continuity of interaction - will the parties cooperate in the future? | One transaction, no past or future | Long-term relationship, expected interaction in the future |
| The structure of the parties and how cohesive they are, are organized | Disorganized, non-cohesive, weak leadership | Organized, cohesive, strong leadership |
| Involving third parties - can others get involved to help resolve the dispute? | No neutral third parties are available | A reliable, robust, prestigious third party is available |
| Perceived progress of the conflict - balanced (equal profit and equal damage) or unbalanced (unequal profit, unequal damage) | Unbalanced - one side feels more harm and wants revenge and revenge, while the more potent side wants to keep control | Balanced - both sides suffer equal harm and equal benefit; a ‘draw’ outcome is possible |

### 1.1. Characteristics of ethnonational intergroup conflicts

Ethnic conflicts involve conflicting interests, constitutional arrangements, political power, and incompatible identities.[7] Central to understanding the intensity of some identity conflicts is uncovering the existential fears that group narratives evoke as they attempt to explain the social and political world.[8] Opposed descriptions reveal alternative worldviews, but we must also recognize that for those on each side, even partial recognition of the opposing perspective is an emotional threat to their beliefs.

Considering that culture and identity are essential concepts for studying ethnic conflicts [9:17], some of the core characteristics of ethnonational conflict based on cultural differences are: 1) Cultural disputes offer a window through which we can better understand the multiple layers of problems in the long-standing unresolved ethnic conflicts in which these disputes are embedded; 2) Disputed cultural expressions can and do focus on the emotional dimensions of conflict; 3) Cultural conflicts are constructed, they can also be reshaped and reconstructed in that direction facilitate de-escalation and settlement. For sure, ethnic conflict is not only about identities but also about real interests and power, constitutional order, and values [9:13-28]. Ethnic conflict is a prolonged social and political confrontation of opponents who define themselves and others according to ethnic characteristics. The criteria such as national origin, religion, race, language, and other features of cultural identity were used to distinguish between opposing groups [10]

## 2. CONDITIONS, LOGIC, AND MODEL OF ETHNONATIONAL CONFLICT RESOLUTION

The essence of the approach to the analysis of ethnic conflict implies an understanding of its drivers. To enable a rational and mutually acceptable solution, it is necessary to understand the nature of conflict through [11:176]:

Discovering the basic needs of all participants

Identifying alternatives for further action

Shaping concerns and issues in a powerful way

Designing power dynamics

Consider meaningful approaches to communication

Separation of the person from the structural aspect of the conflict

Raising conflict in a way that is powerful but does not preclude later communication and problem-solving

Understanding cultural dimensions

Consider different types of external assistance that could be useful

Providing this assistance as needed

Helping people have a voice

Communication alone can only solve some problems, but without it is impossible to resolve conflicts effectively. [12]. Also, a general approach to successful conflict determination implies preconditions for conflict management and resolution [13:117]:

Existence of procedures for resolving the conflict. These procedures are designed to foster communication and interaction between individuals and groups in the environment.

Effective communication. Individuals, especially leaders, are skilled in interaction processes (group formation, group leadership, and group maintenance functions).

Foster and mutual tone relations. The existence of a climate of trust, or is evolving, between and among individuals.

The principle of resolving ethnonational intergroup conflict can be based on an algorithm changed in similar studies of such conflicts [14]. The logic of the solving algorithm supports specific steps within the process with linear and feedback couplings (Figure 1).

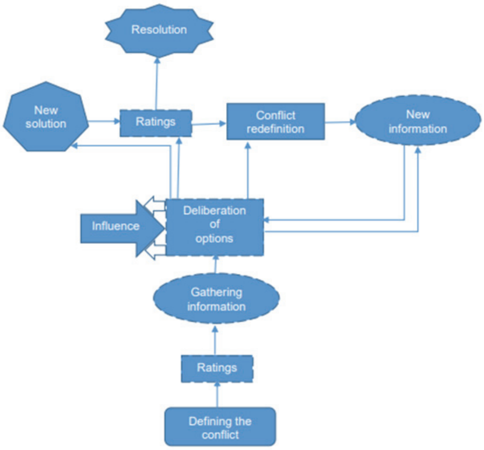


**Figure 1**: Algorithm for resolving conflict logic

The main task of defining conflict is, therefore, the focus to determine what is in conflict [15]. Rating of conflict solutions serves as a starting point against which progress can be measured and introduces as a goal the reduction of conflict preferences with an increase in overall satisfaction. The gathered information may change attitudes, and assessments may be needed to determine whether the conflict persists. This implies the most detailed analysis, and the most agile top-down approach to conflict analysis. [16] The information may provide a route to the poorly defined conflict and, therefore, to a redefinition of the conflict. Finally, it may be necessary to gather more information before a reasonable choice of other options can be made. Since alternative solutions have already been produced in the conflict definition phase (participants' conflict solutions define conflict), we already have a basis for attempts at influence. [17]

On the other hand, these solutions are conflicting, so it is necessary to create new solutions. Suggesting new solutions is based on methods of suggesting a new or even unexpected idea to participants. Certainly, the precondition for resolving the ethnic-based conflict should be, as far as possible, based on a collaborative approach of harmonizing the interests of the conflicting parties. [18] The question is whether the new solutions have brought progress, measured by the rating. The overall satisfaction may be high enough for the conflict to be considered resolved. Alternatively, assessments show whether and in what way the conflict must be redefined.

Modeling of conflict resolution is based on the 'Circle of Conflict .'The Circle of Conflict, as a model or map of conflict, tries to categorize the root causes or 'triggers' of the conflict situation that the practitioner is facing, offering a framework for diagnosing and understanding the factors that create or encourage conflict. After offering a way to diagnose the cause of a conflict, the circle then offers some strategic direction on how the practitioner can move the conflict toward a solution [19:29-35]

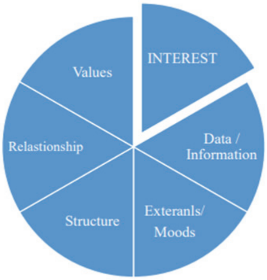


**Figure 2**: Model Circle of Conflict

The algorithm of conflict resolution logic (Figure 1) is applied in the analysis and logical conclusion of the optimum possible solution in all mentioned segments of the Circle of Conflict model of resolution (Figure 2) to meet the maximum possible harmonized goal of both parties, avoiding "zero-sum" solution in each segment.

## 3. MODELING OF ETHNONATIONAL INTERGROUP CONFLICT RESOLUTION – CASE STUDY

In our case, part (nation) A conflicts with a party (nation) B over the political settlement of the status of the part of the territory where the majority of the population is people A. Peoples A and B are ethnically profoundly divided, despite sharing the same living space for centuries. After the armed rebellion of the people of A, the territory in which they are the majority declared secession from the state where B represents the majority.

The parties involved supported A's aspirations for independence. There is a frozen conflict in the scene in which A seeks complete independence, and B agrees to autonomy. The positions are at "zero-sum."

*History*: People A and B have shared the same living space for thousands of years. Throughout history, phases of domination over each other changed depending on the more comprehensive historical events. During the history of relations and thus the conflict, the culture of communication and cooperation was not developed, but domination and revenge. There were periods of bloody confrontations in which the relationship between division, hatred, stereotypes, and dehumanization of the other side developed. Nations are identity and social and religious differences.

*Current state*: The current development and conflict with the manifested aspiration for domination, the lack of communication between groups, and the emphasis on only the ultimate solutions, indicate that both nations have been tragically misled. There are no armed conflicts, and communication occurs through intermediaries and at a shallow level. The government is in a state of mistrust and a strong representation of its interests. The narrative is aggressive and humiliating. Every possible compromise is experienced as weakness and defeat.

*Characteristics*: Observing the conflict in Region Q, it can be seen that it represents an ethnonational conflict between A and B. Namely, the conflict motivation and potential are in the ethnonational characteristics of both nations. At the same time, escalation factors, such as religion and identity, cannot be ruled out in certain phases of this long-lasting conflict. Considering cultural identity as a reliable driver for conflict escalation, at the same time, for its resolution, we took comparative analyses of the cultural characteristics of A and B nations by the Hofstede scale [20]. The conclusion indicates that both nations are orientated toward authority and obeying strong leadership. Collectivity is also significantly expressed. Nation A has less orientation to well–being than nation B. Both nations respect strict rules and do not tolerate unorthodox behavior. Nation A is more future-orientated than B, but B is more pronounced restraint in meeting individual needs than A.

*Preconditions for conflict resolution*: The current development and the state of conflict with the manifested aspiration for domination, the lack of communication between groups, and the emphasis on only the ultimate solutions indicate that both nations have been tragically misled. A precondition for conflict resolution should consider: 1) Establishing restorative justice, Resolving crimes with compensation, identifying and apprehending those responsible, and involving the community in resolving conflicts. 2) Suppression of the truth dichotomy; Different interpretations of truth and its emphasis as an axiom in creating relationships contribute to the absence of constructive communication. Different attitudes toward the truth are based on opposing political goals and stereotypes. The political abuse of centuries-old myths about Q has resulted in cycles of conflict at the macro and micro levels. 3) Establishing an immediate dialogue. Direct dialogue gives people the opportunity to learn more about themselves and others. Negative stereotypes can be reconstructed, and a more complex understanding of oneself can replace monolithic self-representation.

*Modeling of conflict resolution*: Considering algorithm logic interpreted in the model Circle of Conflict matrix, a possible resolution of the intergroup ethnonational conflict between A and B could be framed through:

*Interest*. Confronted (sovereignty/autonomy). Solution: Compiling *defacto* and *dejure* status with solving day-life issues of members of both communities, establishing an immediate dialogue that allows people to learn more about themselves and others. Negative stereotypes can be reconstructed, and a more complex understanding of oneself can replace monolithic self-representation.

*Data/information*. Problem: a dichotomy of truth, information manipulation, wrong and tendentious information, selective and tendentious data, and opposing narrative. Solution: Achieving the preconditions in connection with stopping, above all, media manipulation and starting to change the narrative towards moderate and further affirmative reports. Mutual opening of newsrooms in national media houses, a functional connection of news agencies and journalist associations.

*Third parties*. Each party (A and B) has a third party involved that supports its interests by supporting one. Problem: division of interests of the third parties involved. Solution: Initiative involving *defacto/dejure* solution, with pressure on leaders and motivation of both nations with social and economic substitutions.

*Values*. Problems: The absolute commitment to good and evil is undivided among both peoples. The problem is that the centuries-old, and at the end of the twentieth century, armed escalation conflict has created a physical distance and separation of A and B, which determines that the other side is badly responsible for everything. Solution: Encouragement of modern and personal preference values based on technology and global media penetration. Through interaction with members of another community, to achieve the penetration of positive thoughts, a view 'over the wall,' where the general value system is stimulated and facing the fact that belonging to an ethnic community does not mean a negative connotation.

*Relationship*. Problem: negative experiences from the past, stereotypes, poor and failed communication, repeated negative behaviors. Solution: through prominent examples of restorative justice to promote a uniform attitude toward value systems ('all crimes are punished, 'there are no those protected from justice'). This reduces the generalization and the basis for creating negative stereotypes. Implementation requires the support of leaders, political and social elites, and the media.

*Structure*. Problem: Conflict is fought over the same geographical area, ethnic groups are physically separated and live in parallel realities of conflict awareness, and authorities are national leaders who have legitimacy in conflict communications. Insist on the functional competencies of negotiating teams on expert issues related to people's lives. The interested third parties provide constructive support to leaders in achieving a dispersion of responsibility for negotiations on individual issues (health, social protection, education, science, labor) as part of a gradual resolution of the de facto status. Separate pressure from negotiators to link every, even the most trivial, to a status issue.

## 4. CONCLUSION

Ethnonational intergroup conflicts are the highest form of conflict, both because of their complexity, longevity, escalated forms, violence, lack of communication, and stereotypes, but also the involved interests of third parties. Objectification of the situation, information, goals, and a systematic approach to the projection of the preconditions for resolving the conflict can contribute to its sustainable and harmonized solution. A necessary condition is the harmonized interest of third parties, which should support the harmonized solution proposal with their authority. Also, it is necessary to take into account the cultural characteristics so that through the appearance of the elites of the nations involved in the conflict, they are projected as supporting and not obstructing the solution.

Considering all the above, the conclusion is that in the approach to resolving ethnonational intergroup conflicts, a sequential reversible algorithm for analyzing problems and possible solutions can be adopted. Furthermore, in the design of the solution, it is possible to apply the model of the Circle of Conflict, which is adapted to each conflict following its specifics.

## REFERENCES

[1] Rudolph, J., (2015). Encyclopedia of Modern Ethnic Conflicts. ABC-CLIO.

[2] Cordell, K., Wolff, S. (ed.) (2019). The Routledge Handbook of Ethnic Conflict (2nd Ed.).Routledge.

[3] Lewicki, R.J., Barry, B., & Saunders, D. M. (2016). Essentials of negotiation: sixth edition. New York: McGraw-Hill Education.

[4] Deutsch, Morton (1958). Trust and suspicion. Journal of Conflict Resolution, 2 (4), 265–79. https://doi.org/10.1177%2F002200275800200401

[5] Folger, J. P., Poole, & M.S., Stutman, R.K. (1993). Working through conflict: Strategies for relationships, groups, and organizations (2nd ed.). New York: HarperCollins.

[6] Greenhalgh, L. (1986). Managing Conflict. Sloan Management Review 27, no. 6 (1986), 45–51.

[7] Lake, D., Rothchild. D. (2020). The International Spread of Ethnic Conflict. Princeton University Press (e-book).

[8] Williams. R. (2018). The wars within peoples and states in conflict. Cornell University Press (e-book).

[9] Ross M.H. (2007). Cultural Contestation in Ethnic Conflict. Cambridge University Press.

[10] Stavenhagen, R. (1996). Ethnic conflicts and the nation-state. Macmillan Press Ltd, Hampshire, and London; St.Martin's Press, INC. New York.

[11] Mayer B.S., (2004). Beyond Neutrality Confronting the Crisis in Conflict Resolution. San Francisco: Jossey-Bass.

[12] Jandt, F. (2016). Conflict and Communication. Sage Publications.

[13] Rensis L. (1961). New Patterns of Management. New York: McGraw-Hill Book Company.

[14] Levi, A.M., Benjamin, A. (1977). Focus and Flexibility in a Model of Conflict Resolution. Journal of conflict resolution, Vol 21 No. 3, September, 405-425.

[15] Hardy, J. (2017). Understanding Conflict. NLA Digital.

[16] Mac Ginty, R., Firchow, P. (2016). Top-down and bottom-up narratives of peace and conflict. Politics, Vol. 36(3), 308 –323. https://doi.org/10.1177/0263395715622967

[17] Carneiro, D., Novais, P. (ed.) (2016). Interdisciplinary Perspectives on Contemporary Conflict Resolution. IGI Global (digital book).

[18] Collins, B., Watson, A. (2018).The Impetus for Peace Studies to Make a Collaborative Turn: Towards Community Collaborative Research. In G. Millar (ed.), Ethnographic Peace Research, Rethinking Peace and Conflict Studies, 89-113. Palgrave Macmillan. Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65563-5_5

[19] Furlong, G.T. (2005). The conflict resolution toolbox: models & maps for analyzing, diagnosing, and resolving conflict. Mississauga: John Wiley & Sons Canada.

[20] Hofstede Insights, https://www.hofstede-insights.com/fi/product/compare-countries/

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# THE IMPACT OF COVID-19 AND GLOBALIZATION ON THE SUSTAINABILITY AND RECESSION MANAGEMENT OF FEMALE BUSINESSES

SANJA POPOVIĆ-PANTIĆ, MIRJANA DEJANOVIĆ[2],

[1] Institute Mihajlo Pupin, Belgrade, sanjap.pantic@pupin.rs
[2] Institute Mihajlo Pupin, Belgrade, mirjana.dejanovic@pupin.rs

---

***Abstract:*** *This scientific paper explores the impact of globalization on women's entrepreneurship during the COVID-19 pandemic and examines both the positive and negative aspects of globalization, including access to global markets, technologies, and knowledge, as well as the vulnerabilities and inequalities faced by women entrepreneurs. The role of digital platforms, the digital divide, and opportunities in business improvement are also discussed. The paper highlights the complex interplay between globalization and women's entrepreneurship in the context of the pandemic. Women entrepreneurs faced significant challenges, such as the disproportionate impact of the crisis, increased responsibilities, economic uncertainties, and limited access to funding. However, despite these obstacles, they demonstrated remarkable resilience, adaptability, and innovation in identifying and seizing new opportunities. The importance of stimulating women's entrepreneurship is emphasized as it contributes to economic growth, gender equality, innovation, and social impact. The paper concludes with recommendations to stimulate female entrepreneurship in Serbia, taking into account the changed circumstances brought about by the pandemic. These recommendations include implementing targeted education programs, improving access to finance, fostering networking and mentorship initiatives, providing government support, and implementing work-life balance policies. The aim of the study is to explain the impact of the pandemic on female entrepreneurship in the global world and support women's businesses to strengthen the resilience of the economy and enable female entrepreneurs to balance their obligations in these evolving circumstances.*

***Keywords:*** *COVID-19, female entrepreneurship, globalization, gender gap, economic crisis, resilience.*

---

## 1. INTRODUCTION

This scientific paper aims to explore the multifaceted relationship between globalization and women's entrepreneurship in the context of the crisis caused by the pandemic of COVID-19. The effects of Covid 19 in global conditions on women's entrepreneurship during the pandemic have become a topic of considerable interest and concern because the pandemic has disrupted supply chains, led to the closure of businesses, and caused economic uncertainties on a global scale. Within this challenging landscape, it becomes crucial to examine the specific implications for women entrepreneurs and analyse their experiences in order to help the development of women's entrepreneurship in order to to ensure greater gender equality in entering the business.

Covid 19 with globalization, brings both opportunities and challenges for women's entrepreneurship, increasing their responsibilities and economic uncertainty. Globalization has influenced the formation of completely new international relations, in which states have less and less influence and more and more multinational companies. This information becomes especially important when you take into account that the geographical map of the world has been fragmented in recent decades and that new small states have appeared, which have gained their independence. They do not have the power of influence if they are not united, so today we have a larger number of countries compared to the period a few decades ago, which goes hand in hand with big capital and globalist processes. [1]

If we speak about the compatibility and resilience of crisis in terms of all entrepreneurs pandemic caused a reduction in the number of market participants in terms that strong ones have a better chance to survive than weak ones who already have problems with their business before the crisis. It is very important to take into consideration risk awareness, business capacity, and firm weaknesses, as also chances and opportunities for running a business in difficult circumstances. According to the results of the SeConS survey from April 2020, among women and men who were employed in the non-agricultural sector in February of the same year, 8.2% of people lost their jobs [2]. The survival of businesses depends on finding the right combination and balance within this analysis. The closure of physical stores and the shift to online platforms have created opportunities, but success depends on adapting to these changes effectively.

The world was unprepared for a fast reaction to the global pandemic of COVID-19, and that made an impact on economic trends and production. COVID-19 caused severe consequences, both for the health of people and its economies. It was a big shock even for the industries that very quickly transfer to remote work. Some sectors suffered great losses, while the pharmaceutical industry, manufacturers of drugs, and vaccines, have achieved a big increase in profit, and multiplied their wealth several times.[3] It is already evident that the consequences for companies and the economy as a whole depend on their functioning and economic strength before the crisis. The COVID-19 pandemic has had a negative impact on society as a whole and categories that were in a vulnerable position even before the pandemic have been particularly affected. The COVID-19 pandemic has demonstrated the profoundness of gender inequalities in the region and the fragility of progress made up to date. [4].

## 2. KEY FINDING REGARDING FEMALE ENTREPRENEURSHIP

If we take into consideration the role of women they are not just businesswomen, they are also spouses, mothers, and daughters involved in healthcare for family members, housekeeping, and school obligations in order to help their children during the lockdown. So, the position of women during pandemics became much more complicated. They also have a great role in social protection and social communication in an environment that became more difficult because Covid 19 have as a consequence increased the alienation of people. The lockdown caused fast transfer in communication and running the business on digital platforms but also caused alienation of people. All that seriously affected women and worsened their position in society.

According to the experience of organizations, since the COVID-19 pandemic and government measures in response, women who prior to the crisis were beneficiaries of psychosocial support started to ask about the possibility of receiving financial support, as well as humanitarian aid (food, clothing, medication). They testified that their economic situation is worsening, which significantly contributes to an increase in violence in the family and exposes them to increased psychological pressure from their partner or other family members. Women were aware that deprivation increases the violence they suffer. The organization that recognized the increased importance of support to employment explained that due to the COVID-19 crisis, institutions that implemented employment measures specifically targeting women victims of violence will be weaker. Therefore, NGOs providing support to victims of violence should take a more decisive role in providing this form of support.[5]

If we look closely at how we faced the pandemic in Serbia we can express that at first we were unprepared but with a fast reaction from authorities, the necessary measures were launched due to the recommendations of the World Health Organization.

During the state of emergency, 56% of medium-sized enterprises stated that epidemics has affected their business activity, 22% reported that their business activity has not yet been affected by the pandemic but that they expect negative impacts in the following 2-5 months, 11% stated that their business will not be affected, and the same percentage of respondents reported that their business has not yet been affected but they expect the negative effects in the next 2 months. [6].

If we speak about globalization there is both positive and negative effect on women's entrepreneurship. Positive effects are access to global markets and new opportunities to reach consumers globally and to make tailored offers in accordance with their needs, to better inform regarding the implementation of new technologies and to become more innovative, to encourage launching new ideas. That means better opportunities but bigger competition also in not equal conditions for all market players. The Covid 19 faster the closures of weak entrepreneurs, reshape the competition in the market and create new market trends such as remote work and online shopping, offering opportunities for adaptable entrepreneurs. That was a chance for companies with resilient businesses and also, especially for adaptable ones with good ideas and the capacity to react on time in concrete conditions. That has made it easier for women entrepreneurs to access global markets, to implement some new technologies with ones with the vision of a new era in business and knowledge, enabling them to create new products and services. That helps them to expand their business networks. On the other hand, the pandemic has also exposed the vulnerabilities and inequalities that women entrepreneurs face, such as limited access to financial resources, the capacity of digital infrastructure and their technical equipment. The disproportionate impact of the crisis on women entrepreneurs, increased caregiving responsibilities, economic uncertainties, and limited access to funding, poses a threat to the progress made in achieving gender equality in the business world. By recognizing these dynamics, we can work towards empowering women in entrepreneurship and ensuring their inclusion and success in the digital era.

Globalization has also played a role in facilitating the distribution of medical supplies and equipment, which has been critical in the fight against the virus. Some women entrepreneurs have pivoted their businesses to produce personal protective equipment and other medical supplies, helping to address shortages and meet demand but also exposing vulnerabilities and inequalities that women entrepreneurs face, such as limited access to financial resources, digital infrastructure, and social protection.

Women showed greater flexibility and adaptability to work from home in times of crisis, according to the results of most research, men are perceived as more successful and therefore much more often rewarded in different ways. Regardless of these attitudes, which we have often encountered so far, gender relations when working at home or remotely are quite complex, and sometimes contradictory, especially when it comes to hidden, insufficiently visible aspects. Gender differences are particularly pronounced in what is the main motive for work in general, and that is earnings; except in very rare situations and countries, women are paid less than men, especially if they work traditionally in the office [7].

Despite these challenges, women entrepreneurs have demonstrated remarkable resilience, adaptability, and innovation in response to the crisis to create new products and services and expand their business networks. They have pivoted their business models, identified new opportunities, and harnessed the potential of digital platforms. Stimulating women's entrepreneurship is important for various reasons. It drives economic growth, job creation, and increased productivity, ultimately leading to higher GDP. Moreover, promoting gender equality in entrepreneurship helps abolish barriers and discrimination that women traditionally faced difficulties in accessing funding due to financial market uncertainty and selective investment. Women entrepreneurs bring diverse perspectives, experiences, and ideas to the business landscape, fostering innovation and creativity. Additionally, entrepreneurship empowers women by providing economic independence, self-reliance, and the ability to make a positive impact on their communities.

This raises the amount of their responsibilities and their Contribution to the fight against the virus also with increased caregiving and household tasks. The COVID-19 pandemic has had a disproportionately negative effect on women entrepreneurs, threatening to roll back progress towards gender parity in the workplace and in business. Women entrepreneurs had to demonstrate resilience and adaptability by pivoting their business models, adjusting strategies, and finding new ways to generate revenue through finding new solutions and innovation. The pandemic exacerbated gender disparities and inequalities, particularly in terms of earnings, leadership positions, and entrepreneurial opportunities. The need to address these disparities and promote a fairer distribution of family responsibilities became more evident. It is crucial to implement measures that ensure equal pay, increase women's representation in leadership roles, and create an enabling environment for women to start and grow businesses. Additionally, promoting flexible work arrangements and providing support for childcare and eldercare can help alleviate the burden on women and foster a more equitable society.

## 3. RECOMMENDATIONS FOR STIMULATING FEMALE ENTREPRENEURSHIP IN SERBIA

To stimulate female entrepreneurship and address the challenges posed by the pandemic, several recommendations can be implemented. These include targeted education programs tailored to the specific needs of women entrepreneurs, improved access to finance through dedicated funds and favourable loan programs, networking and mentorship initiatives to facilitate connections and knowledge sharing, and government support through policy initiatives that create an enabling environment for women entrepreneurs. Furthermore, policies supporting work-life balance, childcare, research, and data collection can enhance the entrepreneurial landscape for women in Serbia and beyond. By recognizing the importance of stimulating women's entrepreneurship and implementing these recommendations, countries like Serbia can pave the way for economic empowerment, gender equality, and overall socio-economic development. This paper aims to contribute to the ongoing discussions and initiatives focused on addressing the unique challenges and opportunities for women entrepreneurs in a globalized world shaped by the COVID-19 pandemic. Overall, the impact of globalization on women's entrepreneurship during COVID-19 has been shaped by a complex set of factors, including access to technology, capital, and infrastructure. While the pandemic has created unique challenges, it has also spurred innovation and creative solutions from women entrepreneurs around the world. As the global economy continues to adapt to the pandemic, women entrepreneurs are navigating new challenges and opportunities.

Governments recognize the importance of stimulating female entrepreneurship for economic resilience and implementing policies to support businesses, particularly SMEs. These measures include financial assistance programs, streamlining administrative processes, and providing capacity-building initiatives. By fostering an enabling environment, governments aim to empower women entrepreneurs and drive economic recovery and sustainable development. Governments need to implement policies and initiatives that support women entrepreneurs at the governmental level, simplify bureaucratic procedures, and ensure equal access to public procurement opportunities. create a supportive regulatory environment that promotes gender equality and removes barriers to entrepreneurship. It is very important to help in financing women's entrepreneurship in terms of better communication of the existing opportunities for financing the start-ups and existing businesses, and conditions to access the funds or loan programs that offer favourable terms and conditions. In addition to tax benefits, and financing under favourable conditions, it is necessary to work on the training and education of women entrepreneurs.

The following statistics indicate the status of women in the labour market.

Table 1. Employed persons by professional status, region and sex [in thousand]

| | | Indicator | Employed persons by professional status, region and sex [thousand] | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Period | 2022/III quarter | | | | | | | |
| | | Territory - NSTJ | REPUBLIC OF SERBIA | SERBIA – NORTH | Belgrade region | Region Vojvodina | SERBIA – SOUTH | Region Šumadija and West Serbia | Region Južne and East Serbia | Region Kosovo and Metohija |
| **Professional status** | **Gender** | | | | | | | | | |
| **Total** | **Total** | | 2942.0 | 1591.8 | 790.0 | 801.8 | 1350.2 | 797.7 | 552.5 | … |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Male** | 1626.2 | 866.4 | 407.1 | 459.4 | 759.8 | 445.4 | 314.4 | … |
| | **Female** | 1315.9 | 725.4 | 382.9 | 342.5 | 590.4 | 352.3 | 238.1 | … |
| **Employees** | **Total** | 2271.4 | 1310.4 | 670.7 | 639.7 | 961.0 | 562.9 | 398.1 | … |
| | **Male** | 1191.8 | 673.6 | 326.1 | 347.5 | 518.2 | 297.0 | 221.3 | … |
| | **Female** | 1079.6 | 636.8 | 344.6 | 292.3 | 442.8 | 265.9 | 176.9 | … |
| **Self-employed persons** | **Total** | 478.0 | 232.0 | 108.5 | 123.5 | 246.0 | 147.2 | 98.7 | … |
| | **Male** | 379.8 | 178.5 | 77.9 | 100.6 | 201.3 | 124.3 | 77.0 | … |
| | **Female** | 98.2 | 53.5 | 30.7 | 22.9 | 44.7 | 23.0 | 21.7 | … |
| **Self-employed persons with employees (employers)** | **Total** | 105.9 | 63.7 | 35.2 | 28.6 | 42.2 | 28.2 | 14.0 | … |
| | **Male** | 78.6 | 46.0 | 24.8 | 21.2 | 32.5 | 23.2 | 9.3 | … |
| | **Female** | 27.3 | 17.7 | 10.3 | 7.3 | 9.7 | 5.0 | 4.7 | … |
| **Self-employed persons without employees (own-account workers)** | **Total** | 372.1 | 168.3 | 73.4 | 94.9 | 203.8 | 119.1 | 84.7 | … |
| | **Male** | 301.2 | 132.4 | 53.0 | 79.4 | 168.7 | 101.1 | 67.7 | … |
| | **Female** | 70.9 | 35.8 | 20.3 | 15.5 | 35.0 | 18.0 | 17.0 | … |
| **Contributing family workers** | **Total** | 192.6 | 49.4 | 10.8 | 38.6 | 143.2 | 87.6 | 55.6 | … |
| | **Male** | 54.6 | 14.3 | 0.0 (u) | 11.2 | 40.3 | 24.1 | 16.1 | … |
| | **Female** | 138.0 | 35.1 | 7.7 | 27.4 | 103.0 | 63.4 | 39.5 | … |

Last updated on: 11/30/2022
Source: SORS
Reference: since 1999 without data for AP Kosovo and Metohija
https://data.stat.gov.rs/Home/Result/240003010208?languageCode=en-US&displayMode=table [8]

If we analyze the data we can see the gap between self-employed men and women in Serbia. We Have 379.8 thousand men and just 98.2 thousand women. We must rovide targeted education and training programs that specifically address the needs of women entrepreneurs through different mentorship programs, and business development courses that cover essential business skills. These programs should be easily accessible and tailored to the specific target groups of women entrepreneurs and specific challenges of the business activity and market conditions faced by women in Serbia.

The most desirable functional areas of training, education and the improvement of skills mentioned by SME owners in Serbia are organization and management, information and skills, skills presentations, and consumer-oriented services. In the following period, from 2013 to 2019, numerous projects were implemented in the aforementioned areas of training with the fact that more intensive training began in 2019 for entrepreneurs about the digitization of business, which continued in 2020 [9].

This request better connection of less experienced women entrepreneurs with successful businesswomen, experienced entrepreneurs and industry experts. These networks can provide valuable guidance, support, and opportunities for collaboration in order to empower women in entrepreneurship as a very important factor in the vitality of the economy on the national Serbian and global levels.

It is needed to raise awareness about the benefits of women's entrepreneurship and promote success stories of women entrepreneurs in Serbia through different organizations not only on a national, and regional but also on a global level. The role of the media is crucial to explain successful business practices and models through case studies and to organize events that celebrate women's achievements in business. Also, foster partnerships between government, private sector organizations, NGOs, and scientific organizations and institutes to create a bigger synergy for women entrepreneurs in Serbia and at the global level.

Development Policies programs, and initiatives have to be gender mainstreamed taking into account work-life balance for both genders. By implementing more gender-sensitive strategies in entrepreneurship, Serbia can create an environment that fosters and supports the growth of women's entrepreneurship, leading to the overall socioeconomic development

## 4. CONCLUSION

The COVID-19 pandemic and globalization have both positive and negative impacts on women's entrepreneurship. Women entrepreneurs faced challenges during the pandemic, including vulnerabilities and inequalities such as limited access to financial resources and digital infrastructure. However, they exhibited resilience, adaptability, and innovation in navigating the crisis. Stimulating women's entrepreneurship is crucial for economic growth, gender equality, innovation, and social impact. Addressing vulnerabilities and inequalities is essential for creating a more equitable entrepreneurial landscape. Women entrepreneurs have shown great capacity for different kinds of innovation and creative solutions in a globalized world and this is a chance to make women's entrepreneurship stronger. To stimulate female entrepreneurship, we must make an effort to government measures for stimulations of women entrepreneurship and also luch education programs, improved access to finance, networking and mentorship initiatives, government support, and work-life balance policies are recommended. Implementing these recommendations can contribute to economic empowerment, gender equality, and overall socio-economic development in Serbia.

## ACKNOWLEDGEMENT

This paper was funded by the Serbian Ministry of Science, Technological Development and Innovation.

## REFERENCES

[1] M. Dejanović, „The influence of economic and energy crisis on price of agricultural products“. Ekonomika poljoprivrede, 70(1), pp 253-266, (2023).

[2] SeCons, „Uticaj KOVID-19 pandemije i mera za njeno sprečavanje na preduzetnice u Srbiji“, UNWOMEN, Srbija.), (2020), accessed on 22. June2023.
https://secons.net/wp-content/uploads/2022/01/113-publication.pdf

[3] M. Dejanović, „Društveno odgovorno ponašanje i ekonomska diplomatija“, Zadužbina Andrejević,103 str, ISSN 1450-801X;390, (2015).

[4] S. Popović-Pantić, D. Semenčenko,, & N. Vasilić, „Women Entrepreneurship in the Time of COVID-19 Pandemic: The case of Serbia“, Journal of Women's Entrepreneurship & Education., pp 23-40, (2020).

[5] Impact of the COVID-19 pandemic on specialist services for victims and survivors of violence in Serbia, p 13 (2020), accessed on 22.06.2023
https://eca.unwomen.org/sites/default/files/Field%20Office%20ECA/Attachments/Publications/2020/06/Serbia%20COVID-VAW_Report3.pdf

[6] I. Beraha, S. Đuričin “The Impact of COVID-19 Crisis on Medium-sized Enterprises.” Economic Analysis, 53(1): pp14-27, (2020).

[7] M. Vučeković, M. R. Marković, B. Đukanović, S. Duković, A. Dragojević, „Gender Aspects of Working from Home in Serbia“, JWEE, (1-2), PP 18-36, (2021).

[8] https://data.stat.gov.rs/Home/Result/240003010208?languageCode=enUS&displayMode=table accessed on: 08. February 2023.

[9] S .Popović-Pantić, „Dve decenije ženskog preduzetništva u Srbiji,Institut Mihajlo Pupin, Centar za istraživanje nauke i tehnologije“, 120 str, (2020)

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# INFLUENCERS AND CONSUMER ETHNOCENTRISM AS DETERMINANTS OF ACCEPTANCE OF GLOBAL BRANDS

STEFAN ZDRAVKOVIĆ[1], JELENA ŽIVKOVIĆ[2]

[1] Faculty of Business and Law in Belgrade, University MB, szdravkovic034@yahoo.com
[2] Institute for information technologies, Kragujevac, jelena.zivkovicfbb@gmail.com

---

***Abstract:*** *Consumers' decision to accept global brands is determined by numerous variables, and the above is attracting the attention of a large number of researchers in the field of marketing and management. A certain group of consumers has a developed cultural openness and global consumer culture, which implies the purchase of brands that are recognizable on the world market for their level of quality and technical reliability. Also, the appearance of internet marketing, as well as influencers, i.e. celebrities from the fields of sports, music, and film who advertise certain brands via social networks (Instagram, Facebook) affects the awareness and perception of consumers that global brands provide a certain status and prestige in society and that by purchasing them, you can identify with the members of your reference group. On the other hand, a certain number of consumers have developed a high degree of consumer ethnocentrism, which implies the purchase of products and services of domestic origin. The main goal of the research is to determine the effect of influencers and consumer ethnocentrism on consumers' decision to buy global brands. Empirical research was conducted in the Republic of Serbia at the beginning 2023. years using a survey method on a sample of 242 respondents. Respondents' responses were analyzed using the statistical program SPSS (reliability analysis, KMO and Bartlett's test, correlation analysis, multiple regression analysis) and the results showed that influencers have a positive effect, and consumer ethnocentrism has a negative effect, on the decision of consumers to buy global brands, so the research provides important information that can be useful to marketers when designing a strategy for entering the market Republic of Serbia.*

***Keywords:*** *Influencers, Consumer Ethnocentrism, Global brands*

---

## 1. INTRODUCTION

The process of globalization of the market, the development of information technology, the improvement of traffic and infrastructure networks have led to the emergence of a large number of multinational companies that conduct their business outside national borders and are recognizable by their global brands that they place on markets around the world. Consumers' decision to adopt global brands is influenced by numerous variables. The aim of this research is to determine the effect of influencers and consumer ethnocentrism on the purchase of global brands by consumers on the territory of the Republic of Serbia after the geopolitical crisis caused by the Covid 19 virus pandemic and the Ukrainian crisis. The development of technology and the emergence of the Internet enabled a new form of advertising "influencer marketing", which is based on the advertising of global brands by celebrities through social networks (Sun et al., 2022). Consumers who have developed a high level of global consumer culture, cosmopolitan understanding, and developed cultural intelligence follow the advice of famous people and usually buy foreign luxury brands that allow them a certain prestige in society (Strizhakova & Coulter, 2019). Also, current global events, social unrest and crises, shortages of key energy sources such as electricity and oil, lead to an increase in the degree of consumer ethnocentrism, i.e. to the purchase of domestic products and services by consumers, in order to strengthen the national economy (He & Harris, 2020). During crisis situations and geopolitical tensions, such as the Covid-19 virus pandemic and the war in Ukraine, consumer ethnocentrism is a cohesive factor that unites citizens in order to enable the stable functioning of the national economy by purchasing domestic brands (Zdravković & Gašević, 2022). As part of the literature review, the concepts of influencer marketing and consumer ethnocentrism will be defined, and research hypotheses will be formulated. After that, the research methodology will be defined. Answers from respondents were collected using survey methods, and were analyzed using spss statistical software. After that, results of the research will be explained, while the main theoretical and practical implications, limitations of the research and possible directions of further studies will be stated in the conclusion.

## 2. LITERATURE REVIEW

Due to the development of modern technology, social networks began to have a great impact on people's lives, and on the other hand, they enabled marketers to find new forms of advertising. Influencer marketing has emerged as a contemporary doctrine of traditional propaganda tactics (Al-Emadi & Ben Yahia, 2020). Marketing based on influencers implies that celebrities from the world of sports, music, film and other fields advertise certain brands and thus influence the awareness of consumers, their perception of brand quality as well as purchase intentions. Famous footballers Cristiano Ronaldo and Lionel Messi, singer Justin Bieber, singers Selena Gomez and Beyoncé, as well as famous media personality Kim Kardashian have many followers on social networks such as Instagram and Facebook where they publish their blogs and promote brands that are globally recognizable (Rutter et al., 2021). On the other hand, a certain number of people have a pronounced high degree of consumer ethnocentrism. From the perspective of marketing and economics, consumer ethnocentrism can be defined as the tendency of people to buy products and services of domestic origin (Zdravković et al., 2020). Sharma et al. (1995) state that the concept of consumer ethnocentrism is based on the attitude that it is necessary to buy domestic products and services, because imports cause economic consequences, by weakening the domestic economy, leading to the closure of domestic firms, as well as to a decline in living standards population. Certain countries promote economic policies, which motivate consumers to buy domestic products and services (Veljković, 2009). Marinković et al., (2011) point out that the governments of some countries appeal to the citizens that it is necessary to buy products of domestic origin in crisis situations, because the purchase of foreign products leads to numerous economic and social problems, which are primarily related to the reduction of work engagement of the population. On the other hand, the application of protectionist policy can lead to reciprocal measures by other countries and represents a significant barrier to the development of international trade and the establishment of economic relations with other countries (Ozkan & Kurtulus, 2022). The Covid-19 virus pandemic and the Ukrainian crisis have led to geopolitical tensions, border closures, limited imports, trade barriers, so that consumer ethnocentric tendencies have intensified (He & Harris, 2020). The main goal of this research is to determine the effect of influencers and consumer ethnocentrism on the decision of consumers in the Republic of Serbia to buy global brands.

In previous research (Ahmadi & Ieamsom, 2022; Sun et al., 2022; Zhou et al., 2022) that dealt with the analysis of influencer marketing and the influence of celebrities on the decision of consumers to buy global brands, it was determined that consumers want to buy brands that are promoted by celebrities because they identify with them in that way, and they believe that these brands have excellent quality. Based on the above, the first research hypothesis can be formulated:

*H1: Influencers have a positive statistically significant effect on consumers' decision to purchase global brands.*

In previous research (Pentz et al., 2017; Marinković 2017; Zdravković et al. 2020) that dealt with the analysis of consumer ethnocentrism, it was determined that consumers buy domestic brands in order to enable the stable functioning of the domestic economy, i.e. to increase the employment rate of the population and living standards of citizens. Based on the above, the second research hypothesis can be formulated:

*H2: Consumer ethnocentrism has a negative statistically significant effect on consumers' decision to purchase global brands.*

## 3. RESEARCH METHODOLOGY

The research was conducted using a survey method in the territory of the Republic of Serbia on a total sample of 242 respondents who were segmented according to the demographic characteristics of gender, age, education and status. There are 108 women and 134 men in the sample. The largest number of respondents in the sample are between the ages of 20 and 29. When it comes to education, the largest number of respondents have graduated from university (132 respondents, 54.6% of the sample), while when it comes to status, the majority of the sample consists of students (112 respondents, 46.3% of the sample).

Respondents evaluated the statements from the questionnaire related to the *variables influencers*, *consumer ethnocentrism* and *global brands* using a *Likert scale* with grades from 1 to 7. The statements used in the questionnaire were adapted from the works of researchers in the field of marketing, who studied a similar problematic thematic area (Table 1).

**Table 1**: Statements from the questionnaire

| Research variables | Statements | Source |
|---|---|---|
| **Influencers** | 1. I buy brands that advertise sports and music celebrities.<br>2. I follow influencer posts related to product advertisements via Instagram and Facebook.<br>3. Influencers have a significant impact on the decisions I make in the purchasing process.<br>4. I identify with celebrities when I buy the brands they advertise. | Sun et al. (2022) |
| **Consumer ethnocentrism** | 1. It is necessary to buy only domestic products.<br>2. By purchasing domestic products, we enable the stable functioning of the domestic economy.<br>3. Buying domestic products implies an increase in the standard of living of citizens.<br>4. Consumer ethnocentrism leads to an increase in the employment rate of the population. | Zdravković & Gašević (2022) |
| **Global brands** | 1. Global brands enable prestige in society.<br>2. Global brands have good technical performance.<br>3. I would recommend the global brands that I use to my friends.<br>4. I will continue to buy brands that are recognized globally. | Strizhakova & Coutler (2019) |

In the next part of the paper, the results of empirical research will be presented, based on which a decision is made to confirm the formulated research hypothesis.

## 4. RESEARCH RESULTS

Reliability analysis was applied in the research in order to determine the internal consistency of findings that measure the variables *influencers*, *consumer ethnocentrism* and *global brands*. The results are presented in Table 2.

**Table 2**: Reliability analysis

| Research variables | Cronbach's alpha coefficient |
|---|---|
| Influencers | 0.81 |
| Consumer ethnocentrism | 0.85 |
| Global brands | 0.84 |

*Source*: Author's calculation in the statistical program SPSS

Based on the obtained results, it can be concluded that the variables *influencers*, *consumer ethnocentrism* and *global brands* were measured through adequate statements, which are mutually internally consistent because the value of *Cronbach's alpha coefficient* is higher than the necessary statistical threshold of 0.70 (Nunnally, 1978).

In order to further determine whether the statements used to measure the research variables are relevant and reliable, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) and Bartlett's test were applied. The results of the above tests for the variable *influencers* are presented in Table 3.

**Table 3**: KMO and Bartlett's Test- Influencers

| **Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy** | | 0.792 |
|---|---|---|
| **Bartlett's Test of Sphericity** | Approx. Chi-Square | 625.874 |
| | Df | 10 |
| | Sig. | 0.000 |

*Source*: Author's calculation in the statistical program SPSS

The Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) test value of 0.792 is greater than the statistical threshold of 0.60, which indicates that the *influencer*s variable is measured through adequate statements, while the Bartlett's test value also shows statistical significance ($\chi2$=625.874, Sig=0.000), that is, it confirms that between the statements with which the *influencers* variable is measured, there is a statistically significant correlation.

The results of the Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) and Bartlett's test for the variable *consumer ethnocentrism* are presented in Table 4.

**Table 4**: KMO and Bartlett's Test- Consumer ethnocentrism

| **Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy** | | 0.682 |
|---|---|---|
| **Bartlett's Test of Sphericity** | Approx. Chi-Square | 575.325 |
| | Df | 10 |
| | Sig. | 0.000 |

*Source*: Author's calculation in the statistical program SPSS

The Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) test value of 0.682 is greater than the statistical threshold of 0.60, which indicates that the *consumer ethnocentrism* variable is measured through adequate statements, while the Bartlett's test value also shows statistical significance ($\chi2$=575.325, Sig=0.000), that is, it confirms that between the statements with which the *consumer ethnocentrism* variable is measured, there is a statistically significant correlation.

The results of the Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) and Bartlett's test for the variable *global brands* are presented in Table 5.

**Table 5**: KMO and Bartlett's Test- Global brands

| **Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy** | | 0.825 |
|---|---|---|
| **Bartlett's Test of Sphericity** | Approx. Chi-Square | 754.265 |
| | Df | 10 |
| | Sig. | 0.000 |

*Source*: Author's calculation in the statistical program SPSS

The Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) test value of 0.825 is greater than the statistical threshold of 0.60, which indicates that the *global brands* variable is measured through adequate statements, while the Bartlett's test value also shows statistical significance ($\chi 2$=754.265, Sig=0.000), that is, it confirms that between the statements with which the *global brands* variable is measured, there is a statistically significant correlation.

In order to determine the connection between the research variables, a correlation analysis was applied in the research, and the results are presented in Table 6.

**Table 6**: Correlation matrix

| | **Influencers** | **Consumer ethnocentrism** | **Global brands** |
|---|---|---|---|
| **Influencers** | 1 | -0.289** | 0.395** |
| **Consumer ethnocentrism** | -0.289** | 1 | -0.458** |
| **Global brands** | 0.395** | -0.458** | 1 |

*Source*: Author's calculation in the statistical program SPSS
Note: **- level of significance 0.01

Based on the *Pearson coefficient of linear correlation*, it can be concluded that between the variables *influencers* and *global brands* there is a statistically significant positive linear correlation (coefficient value 0.395), while between the variables *consumer ethnocentrism* and *global brands* there is a statistically significant negative linear correlation (coefficient value -0.458), i.e. influencers have a positive and consumer ethnocentrism a negative effect on consumers' decision to buy global brands. Also, it can be concluded that there is a statistically significant negative linear correlation between the variables *influencer* and *consumer ethnocentrism* (coefficient value -0.289), i.e. people who listen to influencers' advice that they should buy brands that are globally recognizable have a low degree of consumer ethnocentrism, as well as that people who do not attach importance to influencers' advice that they should buy global brands have a high degree of consumer ethnocentrism.

In the research, multiple regression analysis was applied to analyze the effect of *influencers* and *consumer ethnocentrism* on consumers' decision to accept *global brands*, and an overview of the obtained results is given in Table 7.

Table 7: Multiple regression analysis (dependent variable: global brands)

| **Independent variables** | **Beta coefficient** | **T test** | **Sig value** | **VIF coefficient** |
|---|---|---|---|---|
| **Influencers** | 0.348** | 4.547** | 0.000 | 2.586 |
| **Consumer ethnocentrism** | -0.415** | -5.123** | 0.000 | 2.784 |

*Source*: Author's calculation in the statistical program SPSS
Note: **- level of significance 0.01; $R^2 = 0.315$

The coefficient of determination $R^2 = 0.315$ shows that 31.5% of the variability of the dependent variable acceptance of global brands is explained by the set regression model. In the research, the problem of multicollinearity does not arise, because the value of the VIF coefficient in both cases is lower than the statistical threshold of 5 (Field, 2000). The variable *influencers* has a positive statistically significant effect on consumers' decision to accept global brands ($\beta$ coefficient=0.348; T test= 4.547; Sig= 0.000), while the variable *consumer ethnocentrism* has a negative statistically significant effect on consumers' decision to accept global brands ($\beta$ coefficient= -0.415; T test= -5.123; Sig= 0.000), so the **research hypotheses H1 and H2 were confirmed**.

## 5. CONCLUSION

*The originality of the research and the theoretical implications* are reflected in the expansion of scientific knowledge about the influence of the mentioned variables on the acceptance of global brands, as well as the fact that the research takes into account current crises and global political events such as the Covid-19 virus pandemic and the war in Ukraine, because as a result of social crises, consumer ethnocentrism is a cohesive factor that unites citizens who want to help strengthen the domestic economy by purchasing domestic products and services. *The practical implications* are reflected in helping marketing managers when formulating a marketing strategy for the market of the Republic of Serbia, where it is necessary for brands to be adapted to consumers who have pronounced ethnocentric tendencies, but also to consumers who listen to the advice of influencers in the purchase process. *The limitation of the research* is the small sample size and the fact that it was conducted on the territory of one country. *Future research directions* could be based on the inclusion of another variable that can be a significant determinant of global brands, such as cosmopolitanism, xenocentrism and country of origin.

## REFERENCES

[1] Ahmadi, A. & Ieamsom, S. (2022). Influencer fit post vs celebrity fit post: which one engages Instagram users more? *Spanish Journal of Marketing – ESIC*, 26(1), 98-116.

[2] Al-Emadi, F.A. & Ben Yahia, I. (2020). Ordinary celebrities related criteria to harvest fame and influence on social media. *Journal of Research in Interactive Marketing*, 14(2), 195-213.

[3] Field, A. (2000). Discovering statistics using SPSS for Windows. Sage publication.

[4] He, H. & Harris, L. (2020). The impact of Covid-19 pandemic on corporate social responsibility and marketing philosophy. Journal of Business Research, 116(August): 176-182.

[5] Marinković, V. (2017). Efekti animoziteta prema Evropskoj Uniji i patriotizma na potrošački etnocentrizam građana Srbije. *Ekonomski Horizonti*, 19(1), 3-15. Doi: https://doi.org/10.5937/ekonhor1701003M

[6] Nunnally, J.C. (1978). *Introduction to Psychological Measurement*. New York: McGraw-Hill.

[7] *Ozkan, F.N.* & Kurtulus, S. (2022). The role of consumer characteristics on cultural consumption tendency. *Asia-Pacific Journal of Business Administration*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. https://doi.org/10.1108/APJBA-03-2022-0111

[8] Pentz, C., Terblanche, N. & Boshoff, C (2017). Antecedents and consequences of consumer ethnocentrism: evidence from South Africa. *International Journal of Emerging Markets*, 12(2), 199-218. https://doi.org/10.1108/IJoEM-09-2015-0189

[9] Rutter, R.N., Barnes, S.J., Roper, S., Nadeau, J. and Lettice, F. (2021). Social media influencers, product placement and network engagement: using AI image analysis to empirically test relationships. *Industrial Management & Data Systems*, 121(12), 2387-2410.

[10] Sharma, S., Shimp, T.A. & Shin, J. (1995). Consumer ethnocentrism: A test of antecedents and moderators. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 23(1), 26-37.

[11] Strizhakova, Y. & Coulter, R. (2019). Consumer cultural identity: local and global cultural identities and measurement implications. *International Marketing Review*, 36(5), 610-627.

[12] Sun, Y., Wang, R., Cao, D. & Lee, R. (2022). Who are social media influencers for luxury fashion consumption of the Chinese Gen Z? Categorisation and empirical examination. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 26(4), 603-621.

[13] Veljković, S. (2009). Uticaj etnocentrizma na potrošače u Srbiji. *Marketing*, 40(2), 97-107.

[14] Zdravković, S. & Gašević, D. (2022). Effects of Consumer Ethnocentrism, Cosmopolitanism and Cultural Intelligence on the Acceptance of Foreign Brands. *Economic Analysis: Applied Research in Emerging Markets,* 55(1), 48-62. https://doi.org/10.28934/ea.22.55.1.pp48-62

[15] Zdravković, S., Šapić, S. & Filipović, J. (2020). Analiza socio-psiholoških faktora potrošačkog etnocentrizma- moderatorski efekat nacionalnog identiteta. *Marketing*, 51(2), 77-87. https://doi.org/10.5937/markt2002077Z

[16] Zhou, L., Jin, F., Wu, B., Wang, X., Lynette Wang, V. & Chen, Z. (2022). Understanding the role of influencers on live streaming platforms: when tipping makes the difference. *European Journal of Marketing*, 56(10), 2677-2697. https://doi.org/10.1108/EJM-10-2021-0815

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# УЛОГА И ЗНАЧАЈ МЕНАЏЕРСКИХ ВЕШТИНА КОД РУКОВОДИОЦА У ЈАВНОМ СЕКТОРУ

# THE ROLE AND IMPORTANCE OF MANAGERIAL SKILLS IN MANAGERS IN THE PUBLIC SEKTOR

ТАЊА АРАПОВИЋ-ИЛИЋ[1], ВУКОЈИЧИЋ НЕМАЊА [2]

[1] Управа за инфраструктуру, Министарство одбране Републике Србије, Београд,
tanja.arapovic.ilic@mod.gov.rs
[2] Регионални центар Министарства одбране Београд

***Резиме:*** *Управљање људским ресурсима у јавном сектору је данас врло тежак задатак. Да би руководилац могао да организује запослене на прави начин, да их мотивише и да оствари добре резултате у пословању потребно је да поседује неке од најважнијих менаџерских вештина. На основу истраживања које је спроведено на запосленима у организационој целини која припада јавном сектору може се закључити да квалификован и добар руководилац може да мотивише запослене у јавном сектору и да оствари изузетно добре пословне резултате без обзира на околности и потешкоће које се пред њим налазе.*

***Кључне речи:*** *јавни сектор, руководилац, менаџерске вештине, запослени*

***Abstract:*** *The management of human resources in the public sector represents a complex and demanding undertaking in contemporary times. To adeptly organize employees, foster their motivation, and attain positive business outcomes, it is essential for a manager to possess a repertoire of essential managerial skills. Drawing upon research conducted on employees within an organizational unit affiliated with the public sector, it can be inferred that a proficient and competent manager can effectively motivate public sector employees and achieve exceptional business results, irrespective of the prevailing circumstances and challenges they encounter.*

***Keywords:*** *public sector, manager, managerial skills, employees.*

## 1. УВОД

Све израженије промене у савременом пословању довеле су до тога да организације користе расположиве ресурсе у пуном капацитету. Људски ресурси, као најважнији ресурс било које организације, управљени су на знања, вештине, мотивацију, креативне способности, одговорност и преданост сваког запосленог и представљају кључни предуслов за успешно пословање сваке организације. Менаџерске активности обухватају планирање и доношење одлука, организовање запослених, вршење надзора и многе друге активности. Како би ефикасно обављали постављене задатке, менаџери морају да мотивишу запослене и да сарађују са њима. Када је у питању јавни сектор, традиционални модели управљања више не могу да задовоље све веће потребе савременог друштва, па је у складу са тим било потребно увести одређене промене. С обзиром на то да је јавна управа усмерена на пружање услуга и побољшање квалитета живота свих грађана, неопходно је ефикасно организовати људе који раде у јавном сектору. Управљање људским ресурсима у јавном сектору данас све више подсећа на управљање у приватном сектору, а улога менаџера у јавном сектору временом постаје све важнија.

## 2. ПОЈАМ И ДЕФИНИСАЊЕ МЕНАЏМЕНТА ЉУДСКИХ РЕСУРСА

Менаџмент људских ресурса је настао као последица бројних промена које су обележиле XXI век. Управљање људским ресурсима је данас изузетно важан фактор развоја било које организације и представља кључну активност управљања чији је основни задатак да обезбеди квалитетну радну снагу, смањи трошкове пословања и води рачуна о запосленима и њиховим потребама. Оно постаје не само најважнија пословна функција, већ и специфична филозофија и приступ управљању која људе сматра најважнијим потенцијалом. Управљање људским ресурсима је процес спајања људи и организација како би се до циља дошло на ефикасан и брз начин [1]. Велику улогу код менаџмента људских ресурса имају запослени. Приступ којим се запослени посматрају као ресурс, а не само радна снага, представља дистинктивно обележје управљања људским ресурсима у односу на персонални менаџмент [2]. Запослени представљају најважнији и најскупљи, а када је у питању јавни сектор и најпроблематичнији ресурс, па је у складу са тим потребна стратешка оријентација у управљању људским ресурсима. Развој људских ресурса у савременим системима јавног или приватног сектора је заснован на стратешком приступу који је сачињен од неколико међусобно повезаних процеса и то: процену и анализу постојећих ресурса, планирање и организацију људских ресурса, запошљавање нових радника, управљање и контрола над процесима рада, мотивисање запослених, развијање и унапређивање комуникације међу запосленима и истицање значаја тимског рада [3].

### 2.1. Функције менаџмента

Запосленима у оквиру једне организације се додељују улоге у складу са позицијом коју имају, а сарадња међу свим запосленима је предуслов за остваривање циљева организације. Велики број аутора је мишљења да управљање обухвата пет функција и то: планирање, организовање, управљање људским потенцијалима, вођење послова и њихову контролу. Генерално гледано, све наведене функције заједно представљају процес управљања. Свака од наведених функција је врло важна за рад организације, а менаџери су особе које спроводе сваку од њих, па су у складу са тим централна фигура у процесу управљања људским ресурсима и код остваривања свих наведених функција [4]. Планирање се односи на дефинисање и краткорочних и дугорочних циљева организације, утврђивање правила пословања и развој планова који су неопходни за несметано и успешно пословање. Друга функција, организовање, се односи на додељивање задатака сваком запосленом у организацији, али и формирање и управљање секторима у једној организацији. Када је у питању трећа функција, управљање људским ресурсима, уз помоћ ње се дефинише који кадрови су једној организацији потребни, врши се регрутовање и селекција, развијају се и унапређују потребна знања и вештине запослених, итд. Вођење послова је неопходно да би се на запослене непосредно утицало да извршавају своје радне задатке, али и на мотивисање запослених и стварање пријатне радне атмосфере. Последња функција, односно фукнција контроле се односи на упоређивање остварених и очекиваних резултата и предузимање евентуалних корективних мера.

### 2.2. Улога и значај менаџера

Свим пословним организацијама и у јавном и у приватном сектору су потребни менаџери, који настоје да постигну што већу продуктивност уз што мање трошкове. Менаџери морају да имају адекватна знања и вештине, као што су на пример управљање роковима, брзо и ефикасно решавање проблема, доношење одлука, способност да мотивишу запослене и да створе и одржавају добру комуникацију, итд. Вештине захтевају одређено знање, а способност да се знање примени на ефикасан начин стиче се праксом. На развој каријере менаџера могу да утичу и интерперсоналне и аналитичке вештине, које се разликују код сваког нивоа управљања [5]. Ефикасност менаџера у великој мери зависи и од њихове способности и жеље за личним развојем и развојем у каријери. Вештине имају позитиван ефекат на развој каријере менаџера у организацијама, с тим да се на највишем нивоу менаџмента оне највише и уочавају [6]. У односу према запосленима менаџер треба да се опходи са поштовањем и да уважава њихове жеље, потребе и идеје. Врло је вероватно да ће запослени имати боље резултате уколико се осећа вредним у организацији у којој ради и уколико им се за добро обављен посао да признање или похвала. Само мотивисани и задовољни запослени који желе да се усавршавају и да напредују у пословном смислу могу да утичу на промене у организацијама и из тог разлога је врло важно њима управљати на прави начин. Менаџер у јавном сектору мора да има добро развијену визију, комуникацију и етику. Према мишљењу неких аутора менаџер у јавном сектору има могућност да спроведе у дело функције које су кључне за добро управљање [7]. Један од најважнијих задатака доброг менаџера у јавном сектору је процес мотивације, који је врло сложен. Мотивација за рад је спремност запослених на сарађивање у постизању циљева организације и постизању успешности у раду [8]. Менаџер у јавном сектору има задатак да прати и оцењује успешност извршавања радних задатака запослених из два разлога. На првом месту, процена је неопходна због доношења одређених одлука које су директно повезане са награђивањем и мотивисањем запослених. Са друге стране те информације су потребне како би се запослени усмерили и распоредили на неко друго радно место уколико постоје индиције да би се на тој позицији њихов потенцијал максимално искористио.

### 2.3. Специфичности менаџмента људских ресурса у јавном сектору

Улога менаџмента људских ресурса у јавном сектору је пре свега да обезбеди и обучи стручни кадар који с обзиром на природу посла има велику одговорност. У јавном сектору је запослене немогуће мотивисати кроз повећање зараде и друге награде осим оних који су прописани законом, па је у складу са тим задатак менаџера у јавном сектору да пронађе одговарајуће начине да мотивише запослене како би испунили све захтеве који се пред њих постављени. Услед врло нестабилног окружења и промена које настају и код појединаца и код група, пред менаџере у јавном сектору се поставља изузетно захтеван задатак да одрже квалитет људског потенцијала у организационој јединици за коју су надлежни. Менаџер у сваком тренутку мора да балансира између потреба, жеља и могућности сваког појединачног запосленог и циљева организације у јавном сектору. Да би једна организација у јавном сектору имала добре резултате, менаџер као и у приватном сектору, мора да поштује и уважава запослене, да поседује вештине за брзо решавање проблема, да даје савете запосленима, пружи помоћ када је она неопходна и да је способан да брзо и ефикасно у складу са циљевима доноси одлуке **[9]**.

## 3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

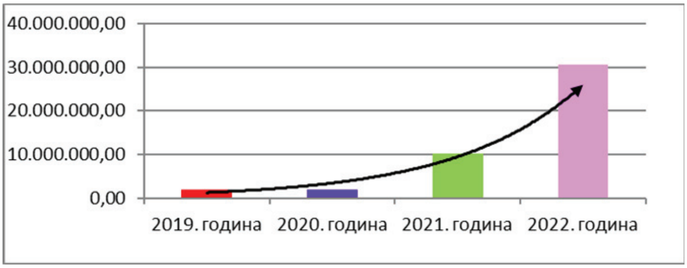
Истраживање је спроведено у виду анонимног упитника на 20 запослених у Одељењу које се бави праћењем и реализацијом наплате потраживања по основу закупа станова на неодређено време, а који су у својини Републике Србије. Истраживање је спроведено у периоду од 08.05.године до 10.05.2023. године. Циљ истраживања је да се утврди став запослених о утицају менаџерских вештина њиховог непосредног руководиоца на резултате пословања организационе јединице у којој раде. Упитник се састоји од 18 питања. Прва четири питања се односе на опште податке: пол, узраст, степен образовања и радни стаж у институцији у којој раде. Остала питања се односе на: оцену радне атмосфере, на оцену претходног и тренутног руководиоца, на оцену комуникације и тимског рада у организацоној јединици, на оцену промена пословања које су се десиле у последње две године, као и на њихово учешће у доношењу одлука и одређивању реалних рокова. Подаци који су добијени анкетом су обрађени у програму СПСС. Након приказивања резултата који су добијени анкетом, биће представљени реални резултати из пословања Одељења.

Упоредним методом ће се доћи до закључка у којој мери су менаџерске вештине руководиоца у поменутом одељењу утицале на резултате пословања.

## 4. ДИСКУСИЈА СА РЕЗУЛТАТИМА

Анкету је попунило укупно 20 испитаника и то 16 особа женског пола (80%) и 4 особе мушког пола (20%). Испитаници који спадају у старосну групу од 18 до 30 година (н=2) чине свега 10% од укупног броја испитаника. По 9 испитаника је било у старосним групама од 31 до 50 година и преко 50 година (по 45%). Од укупног броја испитаника, 7 њих (35%) има завршену средњу школу, двоје (10%) високу школу и 11 (55%) факултет. Када је у питању радни стаж, половина испитаника (н=10) је запослена у истом дуже од 10 година у Институцији. Мање од 5 година радног стажа има 7 испитаника (35%), док три испитаника (15%) имају између 5 и 10 година радног стажа. Пето питање из анкете се односило на оцену радне атмосфере у организационој јединици у којој раде, а постављено је кроз Ликертову скалу. Средњи резултат овог питања износи **3,95** на основу чега се може закључити да је за већину испитаника радна атмосфера пријатна. На шесто питање из анкете које се односи на став испитаника о томе да ли је потребно увести одређене реформе, 7 испитаника (35%) је одговорило да је потребно увести реформе, 12 њих (60%) је означило опцију „Можда“, док само један испитаник сматра да реформе није потребно увести. Седмо питање из анкете се надовезује на шесто и отвореног је карактера, односно испитаници су самостално наводили које реформе је потребно увести и готово сви су навели да је потребно запослити још људи и да је потребно организовати сталне едукације и семинаре. Следеће питање из анкете се односи на оцену комуникације и тимског рада у организационој јединици у којој раде, а формулисано је такође у облику Ликертове скале. Средњи резултат износи **4,05** на основу чега се може закључити да су испитаници задовољни комуникацијом и тимским радом. Следеће питање из анкете се односило на могућности које им је допринео начин рада непосредног руководиоца. Већина испитаника (н=11) радне задатке уз помоћ свог руководиоца обавља брже, 10 њих радне задатке обавља лакше, док један испитаник сматра да је начин рада руководиоца побољшао тимски рад. Следеће питање из анкете се односи на укључивање запослених у процес остваривања циљева у својој организационој јединици. Средњи резултат одговора који су представљени кроз Ликертову скалу износи **4,15** на основу чега се може закључити да је већина испитаника укључена у процес остваривања циљева. Једанаето питање из анкете се односи на укљученост запослених у процес проналажења решења за унапређење пословне праксе. Средњи резултат одговора износи **3,45** на основу чега се може закључити да су запослени делимично укључени у процес проналажења решења за унапређење праксе. Следеће питање из анкете се односи на то да ли испитаници учествују у исказивању реалног рока за постизање циљева, чиме се уважава њихово мишљење од стране руководиоца. Чак 16 испитаника (80%) је одговорило потврдно, док је само 4 испитаника одговорило да не учествује у исказивању реалног рока за постизање циљева. На основу овог питања може се закључити да руководилац поштује и уважава мишљење запослених. Следеће питање из анкете се односи на доприносу који имају кратки јутарњи састанци (Stand Up Meeting). Чак 17 испитаника је става да кратки јутарњи састанци позитивно утичу на комуникацију. Тринаест испитаника је истакло да јутарњи састанци доприносе кохезивности тима. По 12 испитаника је означило опције да ови састанци доприносе испуњењу циљева у предвиђеном року, да утичу на мотивацију и на задовољство запослених. Како би се направило поређење између начина пословања претходног и тренутног руководиоца, испитаници су оцењивали начин пословања оба. Када је у питању начин рада претходног руководиоца средња оцена одговора износи **3,05**, док је начин рада тренутног руководиоца оцењен са просечном оценом **4,65** на основу чега се може закључити да су испитаници много више задовољни начином рада тренутног руководиоца. Шестаесто питање из анкете се надовезује на претходно а тиче се везе између промена и доласка новог непосредног руководиоца. Наиме, 15 испитаника (75%) је става да су доласком новог руководиоца наступиле одређене промене у организационој јединици у којој су запослени. Четворо њих (20%) је става да промене нису наступиле, док један испитаник на ово питање није одговорио. Као што је већ речено, менаџерске вештине руководиоца у јавном сектору имају велики значај за запослене, па се у складу са тим седамнаесто питање из анкете односи на менаџерске особине које поседује руководилац наведене организационе јединице. Сви испитаници (н=20) су означили да је руководилац одговоран и оријентисан на циљеве организационе јединице. По 19 испитаника је означило да је руководилац продуктиван и да доприноси тиму. Већина испитаника (н=18) сматра да руководилац води бригу о запосленима. По 17 испитаника је означило опцију да је руководилац креативан, иновативан и способан да решава проблеме, док је 16 њих означило опцију да је руководилац расположен да даје предлоге. На основу овог питања може се закључити да по мишљењу запослених руководилац поседује све квалитете које треба да поседује један добар менаџер. С обзиром на то да је тренутни руководилац две године запослен на том радном месту, испитаници су оценили његов рад у последње две године, а средњи резултат њихових одговора износи **4,15** на основу чега се може закључити да су испитаници врло задовољни радом свог непосредног руководиоца.

У извештају Организационе јединице о резултатима пословања за потребе овог истраживања издвојени су и приказани резултати који се односе на наплату потраживања (Графикон 1).



**Графикон 1. Приказ уплата по годинама**

У компаративној анализи кретања уплата дуговања по годинама, тј. потпуног измирења дуга утужених закупаца, графикон бр. 1 пружа транспарентан приказ кретања наплате утужених дуговања која након стагнације континуирано расте током 2021 и 2022. године. Расположиви подаци говоре да се у 2022. години региструје највећа наплата дуговања, односно укупна наплата предметних потраживања која се реализовала у овој години износи 68,50% од укупно наплаћених предметних потраживања у извештајном периоду.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Пред руководиоце, нарочито у јавном сектору, се налази изузетно тежак задатак у погледу управљања људским ресурсима. С обзиром на чињеницу да су запослени у већини случајева незадовољни стањем у јавном сектору, врло је тешко пронаћи начин на који ће се такви запослени мотивисати, нарочито што су плате и бонуси ограничени законским прописима. Руководилац који поседује добре менаџерске вештине, који поштује запослене и уважава њихово мишљење може у великој мери утицати на задовољство запослених али и на добре резултате пословања у организацији у којој ради. Истраживање које је спроведено за ову сврху потврђује напред наведену тезу, јер је повезаност између добрих пословних резултата и оцене менаџерских вештина непосредног руководиоца од стране запослених јасно уочљива. С обзиром на врло нестабилно радно окружење и на константне промене које се дешавају на тржишту рада, потребно је пратити промене и прилагођавати начин пословања у складу са њима. Колико су добре менаџерске вештине руководиоца у јавном сектору важне на усвајање ових промена и на добре резултате потврђује и чињеница да су без обзира на то што су испитаници у спроведеном истраживању углавном старије особе које иначе пружају велики отпор променама, врло лако прихватили промене у начину рада који им је предложио и спровео руководилац и да су у складу са тим постигли изузетно добре резултате. Будућа истраживања на ову тему би требало да се односе на проналажење што бољих начина за мотивисање запослених у јавном сектору.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Rakesh D, & Muhammed, M., N.V, Manoj & Abhilash, M. (2022), Human Resource Management, *Archers & Elevators Publishing House,* Bangalore.

[2] Радосавац, Ж. (2015), Савремено управљање људским ресурсима, *Научно стручни часопис SVAROG,* Министарство одбране БиХ, Сарајево.

[3] Steiss, A.W. (2003), Startegic management for profit and nonprofit organizations, *Marcel Decker,* New York.

[4] Mukhopadhyay, B.R. & Mukhopadhyay, D. (2022), Putting workplaces back together, defining HR in 2022, *The Sentinel,* Editorial 7th.

[5] Pooja, A., Hemu, R. & Suman, S. (2017), Managerial skills of managers in public and private organizations of Udaipur city - An assessment*, Asian Journal of Home Science*, Volume 12, Issue 2, 458-462.

[6] Siddiqi, Z., Hussain, A., Basit, S.A. and Nasim, S. (2015). Relationship between interpersonal skills, analytical skills and career development. *Internat. J. Management Sci. & Business Res*., 4 : 14-19.

[7] Pin, J.R. (2017), four-leaf clover: the new public governance: What makes a good manager in the public sector?, *Alumni Magazine IESE*, No. 146.

[8] Обрадовић В., Смарџија Ј., Јандрић Ј. (2015). Менаџмент људских потенцијала у пословној пракси, *Плејада*, Загреб.

[9] Ђорђевић – Бољановић, Ј. (2022), Менаџмент људских ресурса, *Универзитет Сингидунум,* Београд.

# НАУКА О ПОДАЦИМА

# DATA SCIENCE

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# MULTIVARIATE DATA FACIAL CONSTRUCTION: CHERNOFF'S APPROACH

MILAN STAMENKOVIĆ[1], MARINA MILANOVIĆ[2]

[1] University of Kragujevac, Faculty of Economics, Kragujevac, Serbia, *m.stamenkovic@kg.ac.rs*
[2] University of Kragujevac, Faculty of Economics, Kragujevac, Serbia, *milanovicm@kg.ac.rs*

---

***Abstract:*** *Starting from the emphasized variety, usefulness, but also interestingness of graphical representations in the analysis of multivariate data, the focus of the research in this paper is the human-like faces visualization approach, known as Chernoff's faces. Consequently, the aim of this paper is to emphasize the applicative significance and potential of this graphic display for detecting outliers, discovering internally-homogeneous / externally-heterogeneous clusters present in a set of multivariate observations, as well as "describing" clusters' profiles in terms of analyzed variables.*

***Keywords:*** *Chernoff's faces, visualization, multivariate data, cluster analysis.*

---

## 1. INTRODUCTION

Data represent an indispensable product of the realization of every activity and every process in all segments of life and work, so that the functioning of modern world is practically impossible to imagine without data. Therefore, identifying potentially useful information contained in the data, through scientifically based (statistical) analysis, forms the starting point in explaining real phenomena and solving concrete problem situations in almost all areas. Data analysis enables the conversion of data into information and knowledge about the structure, relationships and tendencies that characterize multivariate phenomena by capturing, measuring, processing and comparing their various characteristics with the application of numerous methodological procedures.

In recent years, with the rapid development of computer and software technology, in addition to numerical methods, the application of visualization, that is, graphical methods in the analysis of multivariate data, has been significantly affirmed. Various graphical forms enable determination of the structure of phenomena, comparison of variables and discovery of relationships between them, identification of relatively homogeneous groups of observational units, detection of non-standard observations and, in general, comprehension, explanation, and interpretation of the analyzed phenomena. Therefore, creating efficient and effective graphical representations in the context of discovering and dissemination of (valuable) information contained in data is an important skill in itself [3]. In other words, whether specific graphic displays will enable end users to easily absorb, understand, and make decisions based on information, depends not only on the quality of the data, but also on the skills of the researcher in creating visualization, and selecting of an appropriate presentation method [10]. Data visualization can be applied in various phases of data analysis: from the display of raw and pre-processed data, to the presentation of intermediate results of individual phases of analysis, as well as its final results. In this sense, it is not surprising that an extremely large number of graphical methods based on using graphs, charts, dashboards, images, and maps have been developed for data representation.

Starting from the apostrophized variety, usefulness, but also interestingness of graphical representations in the analysis of multivariate data, the focus of the research in this paper is the human-like faces visualization approach, known as Chernoff's faces. Consequently, the aim of this paper is to emphasize the applicative significance and potential of this graphic display for detecting outliers, discovering internally-homogeneous / externally-heterogeneous clusters present in a set of multivariate observations, as well as "describing" clusters' profiles in terms of analyzed variables. The realization of formulated objective is supported by specific empirical research, which is based on a statistically valid classification of 25 districts (i.e. NUTS 3 level territories) in Serbia, used as a working example, according to the values of selected tourism activity indicators in 2021.

## 2. CHERNOFF'S FACES – METHODOLOGICAL DETERMINATIONS

In his paper entitled "The use of faces to represent points in k-dimensional space graphically", published in the Journal of the American Statistical Association, the statistician Herman Chernoff proposed a procedure for construction of a graphical display, known as Chernoff faces [1]. It is an icon plotting technique for multivariate data that is based on the use of as many as 18 different elements and characteristics of the human face (such as width / length of nose, curvature / length of mouth, angle / length of eyebrow, size of eyes, position of pupils, etc.) to express the values of the numerous corresponding variables. The main idea is reflected in the simultaneous mapping of values of multivariate observations, that are subject to a strong but possibly complex relationships, onto the various features of a cartoon face, in such a way that a researcher can quickly detect and comprehend relevant information regarding the observed phenomena, and then apply appropriate statistical analysis [1], [5]. In other words, this is possible thanks to the fact that by representing variables of analyzed dataset as different features of a face, small changes in variables' values, that might not be apparent when data are displayed in tabular form [6], manifest as noticeable changes in facial expression of constructed icon plot. As such, this graphic display can serve as a useful mnemonic "visual device" for remembering major conclusions [8]. Also, it is important to emphasize that its visual advantages in identifying regularities decrease with an increase in the number of observation units and / or the number of variables. In order to mitigate the aforementioned shortcoming, but also the limitation regarding the number of available facial features, the researcher can, in situations where the number of analyzed variables is greater than 18, construct two faces for each multivariate observation [2]. In addition, the construction of Chernoff faces mainly implies previous normalization of the analyzed variables (i.e. reducing their values to a comparable, similar scale) since they can be characterized by different measurement units and magnitudes, in order to provide better / higher quality graphic representations [4], [8], [7].

The importance of Chernoff faces in detecting outliers, identifying discriminant variables suitable for clustering, providing a better insight into the created hierarchical clustering structure and describing the profile of extracted clusters, is unequivocal. However, it is important to emphasize that this icon graphing technique cannot be used as a replacement of cluster analysis or other (more formal) multivariate data analysis methods, but only as their valuable adjunct. As such, Chernoff faces should be in the armamentarium of all data researchers and statistics users [5].

## 3. EMPIRICAL RESEARCH EXAMPLE

Within this section, the specific aspects of conducted empirical research in terms of key statistical features of used data set, applied methodology framework and main results of combined application of Chernoff's faces and cluster analysis in function of classification of 25 districts in Serbia, according to their level of tourism activity in 2021, are presented.

### 3.1. Variables, source of data and temporal-spatial scope of research

For the purpose of realization of formulated objective, an empirical research was conducted, using the data set, as a working example, with the following statistical properties:

- Observation units & spatial coverage – 25 districts (NUTS 3 territories) in Serbia;
- Variable 1 ($X_1$) – Number of domestic tourist arrivals (DTAs) per 1,000 inhabitants;
- Variable 2 ($X_2$) – Number of foreign tourist arrivals (FTAs) per 1,000 inhabitants;

- Variable 3 ($X_3$) – Number of nights spent by tourists (domestic & foreign) per capita;
- Temporal coverage – all collected data (the latest available) refer to 2021.

All three analyzed variables represent well-known and widely used indicators of tourism activity by the World Travel & Tourism Council. In addition, as it can be seen, instead of using absolute values, the values of listed indicators are expressed per 1,000 inhabitants, or per capita for individual territorial units, in order to provide a comparable data set by mitigating the influence of individual districts' population size on indicators' values and, therefore, the obtained results. Data were collected from thematic publication of the Statistical Office of the Republic of Serbia (SORS), named *Municipalities & Regions of the Republic of Serbia* [9]. Districts within the composition of the Autonomous Province of Kosovo & Metohija are not included in research, because SORS provides no information for these territories since 1999.

### 3.2. Research methodology framework

A schematic representation of research methodology framework, used for realization of defined objective, based on the combined application of hierarchical cluster analysis (CA) and Chernoff's faces, is given in Figure 1.

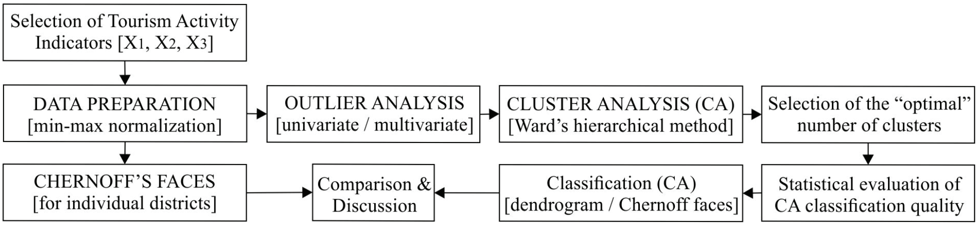


**Figure 1:** Schematic representation of the research methodology framework

Since the used indicators' values are expressed in different measurement units, as it can be seen in presented framework, their min-max normalization is conducted within data preparation phase, thus converting them to a modified range from 1 to 10, in order to ensure a more precise insight into the present differences. Using the normalized values of selected tourism activity indicators, for each of the observed districts, initially, a corresponding Chernoff face is constructed.

On the other hand, after univariate and multivariate outlier detection, based on box-plots and Mahalanobis distance values respectively, a hierarchical agglomerative clustering procedure, based on Ward's method and squared Euclidean distance, as an appropriate dissimilarity measure, is conducted. The "optimal" number of clusters is selected using a criterion based on the monitoring the distance measure values at which individual groups were joined, in each step of the agglomeration process, while the quality evaluation of proposed CA classification is conducted based on the silhouette coefficient value, calculated for the overall CA solution.

Finally, after graphical representation of CA classification in the form of dendrogram and Chernoff faces, constructed for individual groups, a comparison with the initially determined Chernoff faces for each unit was carried out.

Data analysis and all the necessary statistical calculations were carried out using the statistical software packages *IBM SPSS Statistics*, version 20, *SYSTAT* 13.1, and *Microsoft Office Excel*.

### 3.3. Results and discussion

Chernoff's faces, created for individual districts in Serbia based on their normalized values of used tourism activity indicators, are illustrated in Figure 2, using the following facial features: *width of nose* ($X_1$ – number of DTAs per 1,000 inhabitants), angle of eyebrows ($X_2$ – number of FTAs per 1,000 inhabitants), and curvature of mouth ($X_3$ – number of nights spent by tourists per capita).

Larger values of analyzed indicators result in a larger width of nose, a pronounced curvature of eyebrows (i.e. proud / haughty facial expression) and a smile on the face, respectively.

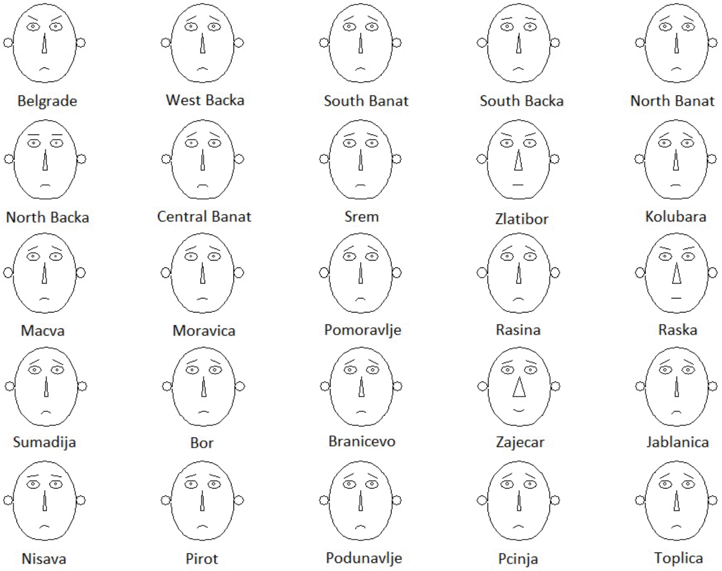


**Figure 2:** Chernoff's faces for individual districts, based on the tourism indicators' normalized values

Before the application of hierarchical cluster analysis, one-dimensional outlier detection was conducted using box-plot diagrams (Figure 3). Constructed box-plots clearly indicate the presence of real (marked with stars) and / or suspected outliers (marked with circle) in case of all 3 variables.

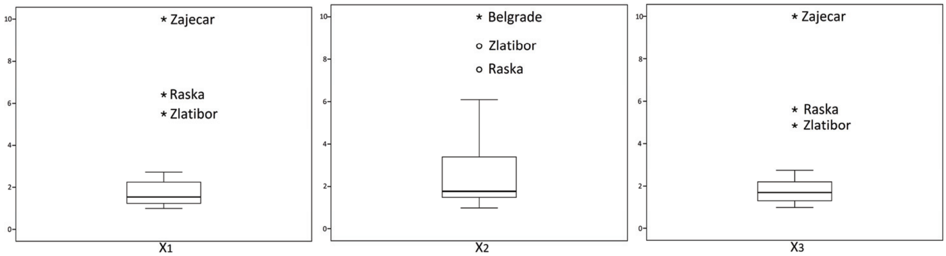


**Figure 3:** Box-plots for individual tourism activity indicators (normalized values)

The list of districts identified as univariate outliers (i.e. Zaječar, Raška, Zlatibor, Belgrade) is completely expected, given the corresponding expressions of Chernoff faces. Actually, the face of Zaječar district is characterized by the widest nose and smile, while the faces of Raška and Zlatibor have slightly narrower nose than Zaječar, but still wide enough compared to all other districts. The faces of the last two districts have straight mouth, which clearly distinguishes them, besides the smiling Zaječar, from all the other districts and their (more / less) sad facial expressions. Observed from the perspective of variable $X_2$, the sharp angle of eyebrows of Belgrade area and slightly smaller angle present on Zlatibor and Raška faces, suggest that these districts are characterized by a significantly higher number of FTAs per 1,000 inhabitants, compared to all other districts. In that sense, it can be confirmed that Chernoff's faces can be of great importance in the detection of one-dimensional non-standard observations. Additionally, Zaječar district and Belgrade area have been identified as multivariate outliers, since they are characterized by Mahalanobis distance values (i.e.

$MD_{ZAJEČAR}$ = 19.384; $MD_{BELGRADE}$ = 14.832) which are above the 97.5 percentile of chi-square distribution ($\chi^2_{(3;\ 0.975)}$ = 9.348), defined as threshold. Identified one-dimensional / multivariate outliers were not excluded from further analysis, and it is expected that these observation units will form so-called outlier-clusters (i.e. single-member or small size clusters).

In accordance with the methodology framework given in Figure 1, on the pre-processed data, a Ward's method, as one of the most commonly used procedures of hierarchical agglomerative clustering, was implemented, using the squared Euclidean distance measure. The cophenetic correlation coefficient value of 0.83, determined for the obtained classification structure, clearly confirms and justifies the selection of this method. By analyzing the growing tendency of distance measure values at which similar districts / clusters are merged during the classification process, an agglomeration step in which a solution of 5 clusters is formed, is identified as a moment when sudden and clearly noticeable increase of this optimality criterion occurred (i.e. from 11.6 to 20.2). This increase (+8.6) is more than two times larger than the comparable value recorded in previous step (+3.9). Since an increase of this magnitude suggests merging two very different clusters, consequently, a classification solution consisting of 6 clusters is selected as the "optimal". The complete hierarchical classification structure obtained as a result of clustering of 25 districts, according to the selected tourism indicators' values in 2021, is given in Figure 3 (left), in form of a dendrogram. The moment of formation of the "optimal" CA solution is marked by a dashed line.

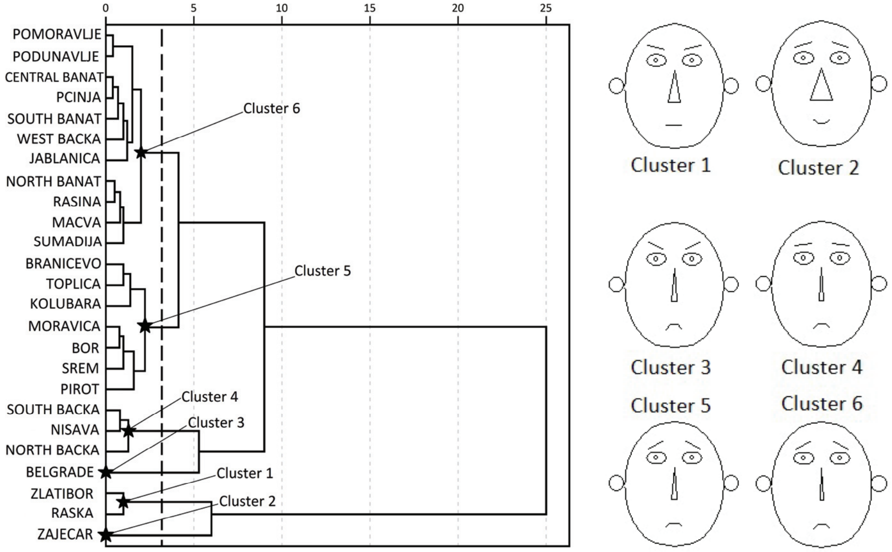


**Figure 4:** Graphical representation of CA results – dendrogram (left) & Chernoff faces per clusters (right)

The silhouette coefficient value of 0.81, calculated for the overall CA solution, indicates that the selected 6-clusters classification is of high quality, since it is within the interval 0.70 – 1.00.

By analyzing the proposed CA classification, it can be noticed that previously described univariate and multivariate outliers are isolated, as expected, as member of so-called outlier-clusters, created in a form of single-member clusters (Zaječar / Belgrade), or a two-member cluster (Raška and Zlatibor). In addition, Chernoff faces created for each of the extracted clusters can serve as a helpful tool for describing their profiles in terms of the used tourism indicators. More precisely, by comparing the Chernoff's faces in Figure 2 and Figure 4 (right), the logic behind the performed classification becomes much clearer, although this would not be the case if the researcher's focus is only on Figure 2, at least at first look. For example, a specific eyebrow angle (i.e. number of FTAs per 1000 inhabitants) makes the members of cluster 4 evidently different compared to other districts. On the other hand, although identifying (i.e. distinguishing) the members of clusters 5 and 6, solely on the basis of Figure 2 looks almost impossible, it does not seem like a difficult task if one carefully analyzes the clusters' faces in Figure 4 (right). In fact, a slightly larger nose width and slightly less curvature of mouth represent facial features that distinguish the members of cluster 5 from those allocated within cluster 6.

## 4. CONCLUSION

Starting from the importance of graphical representations for the understanding, explanation and interpretation of real high-dimensional phenomena, in this paper, according to the formulated research objective, a multivariate methodology framework based on the combined application of hierarchical cluster analysis and Chernoff's icon plotting technique, is presented. Additionally, the realization of defined objective is supported by specific empirical research, which is based on the classification of 25 districts in Serbia, in terms of the selected tourism indicators' values in 2021. Based on the results of combined application of multivariate numerical and graphical methods, viewed from the perspective of usefulness of Chernoff faces, the following two statements stand out clearly: (1) within the data preprocessing phase, by constructing Chernoff's faces for each of the observed districts, their effectiveness in detection of one-dimensional and multivariate outliers is confirmed, and (2) within the results interpretation phase, by creating Chernoff's faces for each of the extracted 6 clusters (according to the optimal solution of implemented hierarchical clustering procedure), a detailed "description" of their profiles in terms of analyzed variables is provided. Having in mind the flexibility of applied methodology it is important to note that its implementation with changed application domain may represent some of the possible directions of future research.

## REFERENCES

[1] Chernoff, H. (1973). The use of faces to represent points in k-dimensional space graphically. *Journal of the American Statistical Association*, *68*(342), 361–368.

[2] Chernoff, H. (2011). Chernoff Faces. In M. Lovrić (Ed.), *International Encyclopedia of Statistical Science* (243–244), Berlin: Springer-Verlag.

[3] Engel, J., Campos, P., Nicholson, J., Ridgway, J. & Teixeira, S. (2020). Visualizing multivariate data: Graphs that tell stories. In P. Arnold (Ed.), *New Skills in the Changing World of Statistics Education* – Proceedings of the International Association for Statistical Education (IASE) 2020 Roundtable Conference, Nanjing, China.
Available at: *https://iase-web.org/conference/roundtable20/*

[4] Flury, B. & Riedwyl, H. (1981). Graphical representation of multivariate data by means of asymmetrical faces. *Journal of the American Statistical Association*, *76*(376), 757–765.

[5] Hale, R. (1991). Software Reviews: Graphing multivariate data with Chernoff's faces. *Journal of School Psychology*, *29*, 403–406.

[6] Huff, D., Mahajan, V. & Black, W. (1981). Facial Representation of Multivariate Data. *Journal of Marketing*, *45*(4), 53–59.

[7] Moore, R. (2011). Multivariate Data Displays for Evaluating Clusters. In *Proceedings of the SAS Global Forum 2011*, (paper 283-2011), Las Vegas, Nevada.

[8] Raciborski, R. (2009). Graphical representation of multivariate data using Chernoff faces. *The Stata Journal*, *9*(3), 374–387.

[9] Republički Zavod za Statistiku [Statistical Office of the Republic of Serbia, SORS] (2022). *Opštine i regioni u Republici Srbiji* [*Municipalities and regions in the Republic of Serbia*]. Retrieved April 8, 2023 from *https://www.stat.gov.rs/publikacije/publication/?p=14944*.

[10] Sinar, E. (2015). Data Visualization. In S. Tonidandel, E. King & J.M. Cortina (Eds.) *Big Data at Work* (115–157). New York: Routledge.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРЕДИКТИВНИ МОДЕЛ ЗА ПРОЦЕНУ ОТКАЗИВАЊА КОРИСНИКА НА ОСНОВУ АНКЕТА О ЗАДОВОЉСТВУ

# PREDICTIVE MODEL FOR ASSESSING CUSTOMER CHURN BASED ON SATISFACTION SURVEYS

МИЛОШ БИЈАНИЋ[1], АНДРИЈА ПЕТРОВИЋ[2], БОРИС ДЕЛИБАШИЋ[3], МИЛЕН ЈАЊИЋ[4]

[1] Факултет организационих наука, Универзитет у Београду,Београд bijanicmilos996@gmail.com
[2] Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, Београд, andrija.petrovic@fon.bg.ac.rs
[3] Факултет организационих наука, Универзитет у Београду, Београд,boris.delibasic@fon.bg.ac.rs
[4] Intellya d.o.o, Београд, milen.janjic@intellya.ai

---

*Резиме: У овом раду је приказано какофлуктуација запослених, такође позната као одлазак запослених или отпуштање представља изазов за организације, узимајући у обзир како директне, тако и индиректне трошкове асоцириане са тим. Као одговор на овај проблем, развијен је иновативни модел машинског учења за предвиђање флуктуација запосленог, који је усидрен у анализи одговора на анкете о задовољству запосленог и детаљној прегледу његовог понашања. Ова аналитичка стратегија нам омогућава да идентификујемо и разумемо кључне динамике које воде до отказа, а модел генерише вероватноћу отказа за сваког индивидуалног запосленог. Резултат овог приступа је јединствен систем који обезбеђује рана упозорења и простор за проактивну интервенцију, стимулиши оптималну алокацију ресурса и унапређује задовољство запослених. Ова истраживачка методологија и резултати имају широк домен примене, истовремено проширујући наше разумевање о превенцији проблема отказа запосленог и његовим динамикама на месту рада.*

*Кључне речи: Предикција отказивања корисника, предиктивни модел, анкете о задовољству.*

*Abstract:This paper presents how employee fluctuations, also known as employee turnover or attrition, pose a challenge for organizations, considering both direct and indirect costs associated with it. In response to this problem, an innovative machine learning model has been developed to predict employee fluctuations, anchored in the analysis of employee satisfaction survey responses and a detailed review of their behavior. This analytical strategy enables us to identify and understand key dynamics that lead to resignations, and the model generates the probability of resignation for each individual employee. The outcome of this approach is a unique system that provides early warnings and room for proactive intervention, stimulating optimal resource allocation and enhancing employee satisfaction. This research methodology and its results have a broad domain of application, simultaneously expanding our understanding of preventing employee turnover issues and workplace dynamics.*

*Keywords: Prediction of customer churn, predictive model, satisfaction surveys.*

---

## 1. УВОД

У савременом пословном окружењу, одржавање стабилне корисничке базе је од суштинског значаја за успех сваке компаније. Међутим, проблем отказивања услуга од стране корисника, познат као „*churn*", поставља озбиљне изазове за многе индустрије. Унапређење начина на који се предвиђа и управља овим проблемом може значајно допринети стабилности корисничке базе и генералном пословању. Са тим циљем, овај рад се фокусира на развој модула за предвиђање „*churn*"-а.Модул за предикцију „*churn*"-а, дизајниран је да анализира претходне одговоре корисника на анкетама и њихово генерално понашање. Анализа се темељи на различитим корисничким атрибутима, омогућавајући предвиђање вероватноће отказивања корисника у одређеном периоду.

## 2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Термин „*churn*” представља индикатор који мери губитак корисника или клијената, било да је реч о отказивању претплате, престанку коришћења услуга, преласку на конкурентне производе или одлазака запосленог [5]. Задржавање постојећих корисника, идентификује се као кључна компонента за постизање одрживости у пословању. Ово се може приписати чињеници да је алокација ресурса ка очувању постојеће базе клијената често економски ефикаснија у поређењу са улагањима неопходним за придобијање нових корисника [7]. Флуктуација запослених, такође позната као одлазак запослених или отпуштање, односи се на одлазак запослених из организације. Предвиђање вероватноће који запослени ће отићи може помоћи организацијама да смање трошкове, задрже таленте и одрже продуктивност [6]. Фактори који утичу на флуктуацију запослених обухватају широк спектар елемената као што су задовољство послом, надокнада и могућности напредовања у каријери. Радно окружење, стил управљања и организациона култура такође имају значајну улогу у одлуци запосленог да напусти организацију [2]. Улога повратних информација запослених је кључна у смањењу флуктуације. Путем анкета или разговора, пружа се увид у задовољство и бриге запослених. Адресирањем проблема истакнутих у повратним информацијама, организације могу смањити флуктуацију и унапредити ангажованост запослених [1]. Примена машинског учења за решавање проблема флуктуације запослених постаје све популарнија у модерном пословном окружењу [4]. Машинско учење омогућава организацијама да анализирају велике количине података, као што су резултати анкета запослених, историја плата, време проведено у компанији, и друге релевантне информације, како би идентификовале обрасце који указују на вероватноћу одласка запослених [3]. Логистичка регресија, стабло одлучивања, случајне шуме и неуронскиих мрежа могу се користити за изградњу предиктивних модела који процењују ризик од флуктуације за сваког запосленог. Ове информације могу бити од суштинског значаја за доношење информисаних одлука у вези са стратегијама задржавања талената и унапређењем задовољства запослених [7].

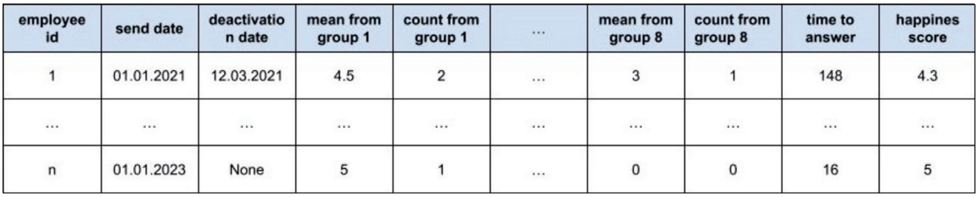
## 3. МЕТОДОЛОГИЈА

У овом раду, предлаже се развој предиктивног моделаотказивања корисника, користећи прикупљене податке из анкета о задовољству. Модел има задатак да предвиди потенцијално отказивање корисника на основу њихових претходних одговора на анкете. У оквиру овог истраживања, урађена је анализа задовољства корисника на основу података добијених путем анкета. Сваки корисник у току једненедеље добије три питања из случајно одабранихосам група питања. У циљу креирања атрибута за предвиђање, за сваког појединачног корисника, пажљиво су идентификоване и континуирано праћене информације које су наведене у *Табели 1*.

**Табела 1. Колоне коришћене за прављење атрбута за предикцију отказа**

| | |
|---|---|
| *EmployeeId* | јединствени идентификатор запосленог или корисника који је попунио анкету. |
| *FirstQuestionFromGroup* | прво питање из одређене групе у анкети. |
| *AnswerOne* | одговор на прво питање. |
| *SecondQuestionFromGroup* | друго питање из одређене групе у анкети. |
| *AnswerTwo* | одговор на друго питање. |
| *ThirdQuestionFromGroup* | треће питање из одређене групе у анкети. |
| *AnswerThree* | одговор на треће питање. |
| *HappinesScore* | резултат који означава степен задовољства корисника. |
| *TimeToAnswer* | време потребно за одговарање на анкету у сатима. |
| *SendDate* | датум слања анкете кориснику. |
| *EmployeeDeactivationDate* | датум када је запослени или корисник престао да користи услуге. |

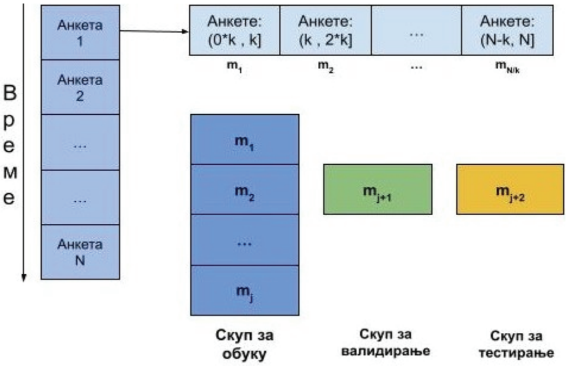
Укупан број различитих група (категорија питања) из којих корисник може да добије анкету је осам. Свака група је означена бројевима од *1* до *8*, одговори на питања узимају вредности од *0* до *5*. Атрибути за сваког корисника и сваку анкету, добијени су израчунавањем број одговора (*count*) који је корисник дао из одређене групе и средњу оцену (*mean*) одговора за сваку групу. Након тога је примењена пивот трансформација и добијен је скуп атрибута који се даље користи при обучавању модела. Пример скупа атрибута приказан је на *Слици 1*. У случајукада није било одговора за одређену групу, вредност броја одговора (*count*) је постављена на *0*, док за средњу вредност (*mean*) је постављена на *-1*.



| employee id | send date | deactivation date | mean from group 1 | count from group 1 | … | mean from group 8 | count from group 8 | time to answer | happines score |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 01.01.2021 | 12.03.2021 | 4.5 | 2 | … | 3 | 1 | 148 | 4.3 |
| … | … | … | … | … | … | … | … | … | … |
| n | 01.01.2023 | None | 5 | 1 | … | 0 | 0 | 16 | 5 |

*Слика 1. Структура скупа података за учење модела*

Даље је придружено *k* последњих анкета за сваког корисника и креирано је *m* скупова података, где сваки скуп $m_i$садржи *k* претходних анкета, приказано је на следећој слици *Слика 2*.



**Слика 2. Скуп података за обуку, валидацвију и тестирање**

Овако добијени подаци су подељени у три групе на основу временског опсега:
1. Групу података за ***обуку*** - састоји се од *j* инстанци, свакаинстанца садржи *m* анкета.
2. Групу података за ***валидирање*** – састоји се од $m_{j+1}$инстанце.
3. Групу података за ***тестирање***–састоји се од $m_{j+2}$ инстанце.

***Процес идентификације лабеле:***„*Churn”*у овом истраживањује заснован на анализи доступних података. С обзиром на недостатак јасног индикатора о прекиду коришћења услуге у скупу података, успостављен је критеријум за дефинисање „*churn*"-а: временска разлика између последње посете корисника анкети (*SendDate*) и датума који означава његову тренутну активност на платформи (*EmployeeDeactivationDate)*.Дефиниција „*churn*"-а утврђена јена основу прагматичног приступа: уколико је разлика између последње посете корисника анкети и тренутног датума мања од *90* дана, корисник је прекинуо да користиуслугу. Временски оквир од три месеца пружа довољно простора за идентификацију корисника који су изгубили интерес за услугом и престали да је користе. Важно је нагласити даможе постојати други индикатор који би био тачнији или ефикаснији. У *Табели 1*, такав податак није доступан. Стога је коришћен наведени критеријум као апроксимација за идентификацију корисника који су престали дакористеуслугу у наредна три месеца од датума посматрања.

***Коришћени модели:*** У овом истраживању примењена су четири различита модела за предвиђање „*churn*"-а: логистичка регресија (*logistic regression*), случајна шума (*Random Forest*), К најближих суседа (*KNN*) и *XGBoost*. Сваки од модела има своје специфичности и предности у решавању проблема класификације. У овом истраживању, модели су се обучавали на скупу података за обуку, докјеподешавање хиперпараметара рађено на валидационом скуп података. Над добијенимоптималним вредностима хиперпараметара који дају најбољу перформансу модела, извршено је тестирање на потпуно независном тест скупу података. Резултати добијени на тестирању су приказани и дискутовани у поглављу 4.

***Приступ чишћењу података:*** У контексту овог истраживања, „*outlier”-и* су корисницикоји су показали конзистентне одговоре на анкете, без обзира на то да ли су одлучили да оду или не. Ове контрадикторне информације изазивајузбуњеност у моделу и доводе до нетачних предикција. Примењено је два правила за уклањање ових инстанци из скупа података:

I) *Правило конзистентности одговора*: ако суодговори на анкете увек исти.

II) *Правило значајних одступања*: ако је стандардна девијација одговора мања од *0.5*.

## 4. РЕЗУЛТАТИ

Приликом евалуације перформансе модела, коришћена је површина испод криве (*AUC*). *AUC* вредност од *1* указује на савршено предвиђање, док вредност од *0.5* означава случајно погађање. У*Табели 1* и *Табели 2* приказани су резултати оптималне конфигурације хиперпараметара модела, као и резултати након примене правила уклањања „*outlier”-а.*

**Табела 2. Резултати модела предикције churna пре уклањања „outlier”-а.**

| Модел | Тачност | Прецизност | Одзив | AUC |
|---|---|---|---|---|
| Логистичка регресија | 0.68 | 0.54 | 0.33 | 0.66 |
| Случајна шума | 0.85 | 0.6 | 0.36 | 0.71 |
| KNN | 0.69 | 0.29 | 0.32 | 0.62 |
| XGBoost | 0.88 | 0.65 | 0.4 | **0.72** |

**Табела 3. Резултати модела предикције churna након уклањања „outlier”-а.**

| Модел | Тачност | Прецизност | Одзив | AUC |
|---|---|---|---|---|
| Логистичка регресија | 0.72 | 0.56 | 0.35 | 0.69 |
| Случајна шума | 0.88 | 0.65 | 0.39 | 0.73 |
| KNN | 0.72 | 0.32 | 0.34 | 0.64 |
| XGBoost | 0.91 | 0.69 | 0.42 | **0.75** |

Анализом резултата може се уочити да обрада података путем уклањања „*outlier”-а*, односно екстремних вредности, доприноси побољшању перформанси модела у предвиђању „*churn*"-а. Посебно се истиче модел *XGBoost*, који је остварио боље резултате у односу на остале моделе.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Важно је нагласити да је континуирано бављење подацима неопходно за оптимизацију перформанси. Додатно, како се технологија и методологије у области машинског учења непрестано развијају, важно је остати у току са најновијим алатима и техникама који могу унапредити тачност предвиђања. То може укључивати експериментисање са различитим алгоритмима, оптимизацијом хиперпараметара или интеграцијом нових извора података. На тај начин, организације могу максимално искористити предности аналитике података у циљу доношења информисаних одлука са стратегијама задржавања талената и унапређењем задовољства запослених.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Hom, Peter W., et al. "One hundred years of employee turnover theory and research." Journal of applied psychology 102.3 (2017): 530.

[2] Chakraborty, Raj, et al. "Study and prediction analysis of the employee turnover using machine learning approaches." 2021 IEEE 4th International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON). IEEE, 2021.

[3] Alaskar, Lama, Martin Crane, and Mai Alduailij. "Employee turnover prediction using machine learning." Advances in Data Science, Cyber Security and IT Applications: First International Conference on Computing, ICC 2019, Riyadh, Saudi Arabia, December 10–12.

[4] PM, Usha, and N. V. Balaji. "Analysing Employee attrition using machine learning." Karpagam Journal of Computer Science 13 (2019): 277-282.

[5] Woods, Kathryn. "Exploring the relationship between employee turnover rate and customer satisfaction levels." The Exchange 4.1 (2015).

[6] Singhal, Yash, et al. "Review of bagging and boosting classification performance on unbalanced binary classification." 2018 IEEE 8th International Advance Computing Conference (IACC). IEEE, 2018.

[7] Xie, Yaya, et al. "Customer churn prediction using improved balanced random forests." Expert Systems with Applications 36.3 (2009): 5445-5449.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# СКИЈАЊЕ И ПОВРЕДЕ: ОТКРИВАЊЕ УЗРОЧНО-ПОСЛЕДИЧНИХ РЕЛАЦИЈА ИЗМЕЂУ КАРАКТЕРИСТИКА СКИЈАЊА И СКИЈАШКИХ ПОВРЕДА

# SKIING AND INJURIES: DISCOVERING CAUSE-EFFECT RELATIONSHIPS BETWEEN CHARACTERISTICS OF SKIING AND SKI INJURIES

САНДРО РАДОВАНОВИЋ[1], БОРИС ДЕЛИБАШИЋ[1], МИЛИЈА СУКНОВИЋ[1]

[1] Универзитет у Београду – Факултет организационих наука, Београд, sandro.radovanovic@fon.bg.ac.rs

***Резиме:*** *Скијање је деценијама привлачило велики број људи широм света као спорт и разоноду. Иако скијање пружа уживање и забаву, неизбежна је и појава повреда. Како би се смањио ризик и унапредило искуство скијања, анализирање података о скијању и повредама може бити од велике користи. У овом раду се истражује узрочно-последична веза између карактеристика скијања и повреда на планини Копаоник у периоду од шест година. Користећи алгоритам NOTEARS и каузално резоновање, испитани су ефекти третмана на стопу повређивања. Резултати упућују на зависност између сата скијања и видљивости на повреде, као и на позитиван утицај просечног времена проведеног скијајући, просечног броја спустова и просечна вертикална даљина на стопу повређивања. Односно, веће вредности горе-поменутих фактора утичу на већу стопу повређивања.*

***Кључне речи:*** *Узрочно-последични модели, просечан ефекат третмана, скијашке повреде.*

***Abstract:*** *Skiing is attracting a large number of people around the world as a sport and pastime for decades. Although skiing provides enjoyment and fun, injuries are inevitable. To reduce the risk and improve the skiing experience, analyzing skiing and injury data can be of great benefit. This paper investigates the causal relationship between skiing characteristics and injuries on Mt. Kopaonik over six years. Using the NOTEARS algorithm and causal reasoning, treatment effects on injury rates were examined. The results indicate a dependence between hours of skiing and visibility on injuries, as well as a positive influence of average time spent skiing, average number of slopes, and average vertical distance on the injury rate. That is, higher values of the above-mentioned ḫ factor influence a higher injury rate.*

***Keywords:*** *Causal models, average treatment effect, ski injury.*

## 1. УВОД

Скијање и као спорт и као разонода већ велики број година привлачи туристе широм света и процењује се да је број скијаша око 400 милиона годишње [7]. Међутим, скијање поседује нежељену особину да се повреде дешавају. Наиме, број повреда приликом скијања је прилично низак и износи око 2 повреде на 1000 скијаш-дана [9], али цена повреде је обично веома висока. Повреде могу да резултују привременим или трајним инвалидитетима, те је битно истраживати феномен повреда током скијања како би се предлагале интервенције и смањио њихов ризик.

Данас сваки модерни ски центра поседује технологију за регистрацију ски пасова који контролише улаз скијаша у ски лифтове. Прикупљањем и анализом ових података могу се извући информације о понашању скијања и потом дође до закључака потребних за доношење одлука. Повезивањем ових података са скијашким повредама могуће је унапредити искуство скијања и смањити ризик од повређивања. Тренутно је анализа података ограничена на дескриптивну анализу, која обично резултује факторима ризика које су непотпун приказ скијашких повреда и тешко се операционализују у смислу препорука [2].

Иако модели откривања законитости у подацима могу да резултују у препорука када и где поставити службу спасавања како би се или брзо реаговало или превентивно деловало на појаву повреде, могућност разумевања феномена скијашке повреде је ограничена. У овом раду бавимо се истраживањем узрочно-последичне везе између карактеристика скијања и повреда на планини Копаоник у периоду од шест година. За разлику од алгоритама откривања законитости у подацима, овим приступом добијамо могућност да испитамо ефекте третмана на стопу повређивања и помогнемо доносиоцима одлука да донесу политике које би смањиле стопу повређивања. За потребе овог рада користимо алгоритам *NOTEARS* [15] који резултује у узрочно-последичном графу и каузално резоновање [10] како бисмо испитали просечан ефекат третмана на феномен повреда.

## 2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Иако је поступак прикупљања и обраде података одавно постао дигитализован, интерес за анализом података није испратио тај тренд. Један од разлога се може наћи у томе да је индустрија туризма уопштено спорија у применама нових информационих технологија које су усмерене ка откривању законитости у понашању корисника, већ су усмерене ка бољој информисаности и комуникацији са пружаоцима услуга [8].

Већина тренутних истраживања везаних за скијашке повреде се бави дескриптивном статистиком или класичним статистичким тестовима како би се утврдиле зависности између карактеристике скијања и повреде. Односно, већина истраживања користи тзв. контролисане студије у којима се предефинисани упитници дају и повређеним и неповређеним скијашима, те се утврђује шта је разлика између две кохорте скијаша. Најчешће се анализирају физичка својства скијаша која показују да су повреде чешће код млађих лица [13] и код женског пола [9], [6]. Поред физичких својстава скијаша, проучавају се и понашање скијаша. На пример, мање искусни скијаши су склонији повредама од искуснијих скијаша [5]. На крају, повреде могу бити узроковане и спољним факторима, као што је лош квалитет снега [7] и лоши временски услови [1], [7].

Друга линија истраживања скијашких повреда покушава да предвиди појављивање повреда на стазама применом метода откривања законитости у подацима. Мотивацију за примену наведених метода можемо пронаћи у томе да скијашке повреде долазе као резултат интеракције већег броја фактора истовремено. Може се пронаћи да алгоритми стабла одлучивања и логистичке регресије [11] могу да помогну у одлучивању када и где треба поставити скијашке патроле како би се брзо интервенисало уколико дође до повреде. Односно, показано је да број скијаша и доба дана имају јаку асоцијацију са скијашким повредама. У другим сродним истраживањима попут [4] је показано да интеракције између особина скијања доносе превагу у тачности предикција зато што су скијашке повреде веома комплексан проблем који није могуће описати једном особином. У раду [3] је показано да величина групе у комбинацији са временским условима, трајањем скијања тог дана и стазом доприноси повређивању. Тачније, показано је да скијање у пару или у групи смањује вероватноћу повређивања.

Међутим, примена алгоритама откривања законитости у подацима открива асоцијације између особине скијања и повреде, те као такве се могу користити у процесу доношења одлука [2], [12] са ограниченом употребом у разумевању проблема повређивања. Да бисмо у потпуности разумели како и зашто се скијашке повреде дешавају потребно је да применимо неке од метода откривања узрочно-последичних релација [10]. Главни проблем је што нисмо у могућности да дизајнирамо и спроведемо насумичну контролисану студију и испитамо сваки фактор појединачно, већ се морамо ослонити на опсервационе податке.

## 3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

У овом поглављу биће описани подаци који су коришћени за ово истраживање, као и метода *NOTEARS* која се често користи као метода за откривање Бајесове мреже која служи као основа за каузалну анализу у многим истраживањима.

### 3.1. Опис података

За потребе овог истраживања користили смо податке прикупљене са ски пропусница које се користе сваки пут када скијаш улази у жичару. На тај начин добијамо информацију о кретању скијаша по целом скијалишту.

Подаци су прикупљени на планини Копаоник и обухватају 605 дана скијања, односно шест узастопних сезона. Како бисмо могли да обезбедимо откривање узрочно-последичних модела, подаци су припремљени тако да представљају стање на стази у посматраном сату. Другим речима, један запис у скупу података представља агрегиране податке са једне стазе у једном сату. Како је циљ откривање законитости на целом скијалишту, информација о дану и називу стазе је уклоњена, а откривање узрочно-последичних модела за сваку стазу појединачно је остављено за будући рад. Списак атрибута који ће бити коришћени у даљем експерименту су описани у Табели 1.

**Табела 1:** Списак атрибута са описом

| **Назив** | **Опис** |
|---|---|
| *hour* | Посматрани сат скијања |
| *avg_time_on_track_s* | Просечно време боравка на стази до посматраног сата |
| *most_skiers_beggining_time_on_track* | Сигнал да ли је већина скијаша тек кренула да скија |
| *avg_vertical_distance* | Просечна вертикална даљина коју су скијаши прешли до посматраног сата |
| *most_skiers_beggining_vertical_distance* | Сигнал да ли је већина скијаша имала малу вертикалну даљину |
| *avg_num_of_slopes* | Просечан број спустова који су скијаши имали до посматраног сата |
| *most_skiers_beggining_num_of_slopes* | Сигнал да ли је већина скијаша имала мали број спустова |
| *avg_num_dist_slopes* | Просечан број различитих стаза које су скијаши прешли до посматраног сата |
| *most_skiers_beggining_num_dist_slopes* | Сигнал да ли је већина скијаша прешла мали број различитих стаза |
| *temp* | Температура на скијалишту у посматраном сату |
| *dew_pt* | Тачка росе исказана у температури |
| *hum* | Влажност ваздуха исказана у процентима |
| *wind_spd* | Јачина ветра исказана у метрима у секунди |
| *vis* | Видљивост исказана у километрима |
| *fog* | Сигнал да ли је била присутна магла |
| *rain* | Сигнал да ли је падала киша |
| *snow* | Сигнал да ли је падао снег |
| *injury* | Сигнал да ли је дошло до повреде у наредном сату скијања |

Скијалиште Копаоник је према свим карактеристикама повређивања веома слично осталим скијалиштима . Односно, стопа повређивања износи око 2 повреде на 1000 скијаш-дана [9]. Стопа повређивања има растући тренд који се поклапа са већим бројем скијаша и већим бројем стаза и жичара које се отварају готово сваке године.

## 3.2. Откривање узрочно-последичног графа

Алгоритам који се користи у овом истраживању за откривање узрочно-последичног графа се назива *NOTEARS* [15]. Овај алгоритам се показао као робустан и поуздан за откривање директних ацикличних графова, поготово за анализирање узрочно-последичних веза. Главни разлог зашто је овај алгоритам погодан је рачунска комплексност. Односно, учење каузалних графова је обично везано за НП-тешке алгоритме што ограничава њихову употребну вредност [10], а алгоритам *NOTEARS* превазилази проблем употребом континуалне оптимизације.

Основна идеја иза *NOTEARS* алгоритма је да се кроз процес оптимизације научи матрица инциденције која може да се тумачи као узрочно-последична матрица. Као резултат примене овог алгоритма требало би да добијемо директан ацикличан граф који најбоље описује посматране податке. У области машинског и статистичког учења прихваћено је да ово представља најбољу могућу процену узрочно-последичног модела из опсервационих података [14]. Математички модел је се оптимизује је дат испод.

$$\begin{aligned} &\min F(W) = l(W,X) + \lambda\|W\|_1 = \frac{1}{2n}\|X - XW\|_F^2 + \lambda\|W\|_1 \\ &s.t. \\ &trace(e^{W\odot W}) - d = 0 \end{aligned} \qquad (1)$$

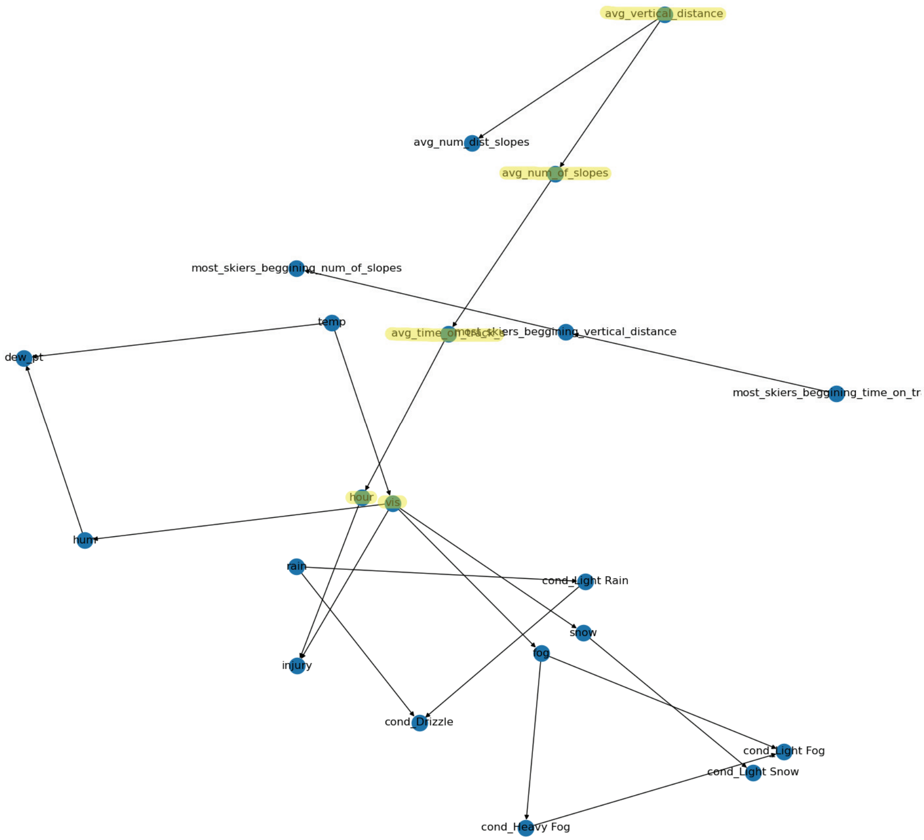
где је $W$ матрица инциденције која се учи током оптимизације, $X$ скуп података, а $\lambda$ хипер-параметар који се задаје пре оптимизације. Функција циља представља Фробенијусову матричну норму. Она се тумачи као грешка реконструкције података. Поред наведеног, као регуларизација модела додаје се Менхетн матрична норма над $W$ чији је задатак да матрица $W$ има велики број нула вредности. Како би се обезбедило да матрица $W$ буде директан ацикличан граф користи се позната релација између дијагоналне норме степена матрице и цикличности у графу. Односно, екпанзијом Тејлоровог полинома дијагоналне норме степена матрице се показује да њена вредност треба да буде највише $d$ (број атрибута) како би се обезбедило да је матрица директан ацикличан граф. Начин на који се решава постављени оптимизациони проблем је проширена метода Лагранжових множитеља.

Када се добије узрочно-последични модел, могуће је спровести анализе и испитати просечан ефекат третмана на циљну промењиву. На овај начин се изолују ефекти који могу да збуне тумачење и доведу доносиоце одлука до погрешних закључака. Узрочно-последично резоновање захтева блокирање свих и позадинских и предњих путања (енг. *backdoor and frontdoor paths*) и рачунање просечног ефекта третмана, односно $\mathbb{E}[y_1 - y_0]$ где је $y_1$ вероватноћа исхода са третманом а $y_0$ без третмана. У овом истраживању као третман биће постављени они атрибути на које скијалиште може да утиче. Односно, број спустова, број скијаша на стази и просечно трајање скијања.

## 4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

За подешавање *NOTEARS* алгоритма коришћена је мрежна претрага хипер-параметра $\lambda$, тако да прва добијена вредност $\lambda$ резултује у допустивом решењу (добијено $\lambda$=0,1). Након приказа и тумачења добијеног графа, спроведена је оцена просечног третмана ефекта где су сви нумерички подаци дискретизовани у две категорије – изнад медијане и испод медијане.

Резултати *NOTEARS* алгоритма су приказани на слици 1. Са графикона је евидентно да одређени фактори нису везани за скијашке повреде на скијалишту Копаоник. Односно, само мањи број фактора поседује узрочно-последичну релацију са скијашким повредама.



**Слика 1:** Узрочно-последични граф – Копаоник

Директну релацију са скијашким повредама имају само фактори *hour* (сат скијања) и *vis* (видљивост). За фактор сат скијања се већ у литератури показало да утиче на повреде кроз алгоритме откривања законитости у подацима [4], [11], док је видљивост веома занимљива јер се до сада само делимично јављала као фактор повређивања у [3]. Даљим посматрањем графа можемо уочити и да посредно на скијашке повреде утичу и просечно време проведено скијајући, просечан број спустова и просечна вертикална даљина. Сви они су повезани са сатом посматрања и преко њега утичу на повреде. Управо су ово фактори које модели машинског учења виде као веома битне [11], [3]. Сличним резоновањем долазимо до закључка да спољна температура (*temp*) преко видљивости утиче на повреде. Наведени фактори су обележени на слици жутом бојом. Такође, са слике се може видети да не постоји ниједан атрибут који има збуњујући ефекат (енг. *confounding*) на тумачење.

Фактори на које можемо да утичемо и као такве можемо да посматрамо као третмане су просечна вертикална даљина, просечан број спустова, просечно време боравка на стази, као и број спустова и број скијаша. Један од начина како бисмо могли да интервенишемо на наведене атрибуте је кроз препоруке скијашима за безбедније скијање. Односно, препоручивањем скијашима које стазе да скијају и када да праве паузу можемо да контролишемо време проведено скијајући,  вертикално растојање, као и број стаза који савладају током дана.

**Табела 2:** Просечан ефекат третмана

| **Атрибут** | **Просечан ефекат третмана** |
|---|---|
| *avg_vertical_distance* | 0,0442 ($p < 0,0001$) |
| *avg_num_of_slopes* | 0,0365 ($p < 0,0001$) |
| *avg_time_on_track_s* | 0,0409 ($p < 0,0001$) |

За испитивање просечног ефекта третмана коришћен је процес тестирања позадинских путања моделом логистичке регресије зато што је прикладан за проблем који се посматра. Односно, излаз (повреда) је бинарне природе, а сви улазни атрибути су конвертовани у бинарне како је описано на почетку овог поглавља. Такође, поступак испитивања ефекта третмана подразумева фиксирање свих фактора који истовремено утичу на повреде, а нису подразумевани као третмани, а то су температура и видљивост. У табели 2 видимо просечне ефекте третмана и њихове вероватноће да су лажно позитивна тумачења.

Можемо доћи до закључка да је, када се фиксирају температура и видљивост, просечан ефекат третмана за сва три изабрана фактора позитиван што говори да веће вредности ових фактора има позитиван утицај на стопу повређивања. Подаци нам говоре да сат скијања игра велику улогу и да се већи број повреда догађа у ранијим часовима код скијања који имају високе вредности горе поменутих фактора. Дакле, повреде се могу описати као рани догађај (енг. *early event*) који се јавља код скијаша који желе да скијају што је могуће више за што мање времена. Други битан закључак наведене анализе јесте да временске прилике такође утичу на стопу повређивања. Смањена видљивост, као и лоши временски услову, утичу на стопу повређивања што је закључак који може да се пронађе у већем броју истраживања [1][2].

## 5. ЗАКЉУЧАК

Овај рад се бавио откривањем узрочно-последичних веза између понашања скијаша, временских услова и повреда на планини Копаоник у периоду од шест година. За те потребе коришћена је практично потврђена метода *NOTEARS* која открива граф узрока и последица на основу опсервационих података.

На основу добијених резултата уочено је да постоји зависност између сата скијања и видљивости на скијашке повреде. Лоши временски услови и смањена видљивост доприносе повећаној стопи повређивања, што је у сагласности са ранијим истраживањима. Међутим, овај рад указује да фактори просечно време проведено скијајући, просечан број спустова и просечна вертикална даљина посредно утичу на повреде преко сата скијања. Битно је напоменути да је ипак потребно узети резултате са резервом зато што се откривају узрочно-последичне релације из опсервационих података.

Додатно, овај рад је испитао каузалним ефектима третмана. Односно, када се фиксирају температура и видљивост, просечан ефекат третмана за факторе просечне вертикалне даљине, просечног броја спустова и просечног времена проведеног на стази је позитиван. Ово значи да веће вредности ових фактора имају позитиван утицај на стопу повређивања. Ови закључци и сазнања могу послужити доносиоцима одлука у скијању и развоју политика које би помогле у смањењу стопе повређивања и повећању безбедности скијаша.

У будућем раду планирамо да проширимо истраживање на појединачне стазе зато што свака стаза поседује специфичности у конфигурацији стазе и временским условима, те последично и у свим облицима понашања скијаша.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Carus, L., & Castillo, I. (2021). Managing risk in ski resorts: Environmental factors affecting actual and estimated speed on signposted groomed slopes in a cohort of adult recreational alpine skiers. *PLOS One*, *16*(8), e0256349.

[2] Delibašić, B., Radovanović, S., Jovanović, M. Z., & Suknović, M. (2020). Improving decision-making in ski resorts by analysing ski lift transportation—a review. In *Advances in Operational Research in the Balkans: XIII Balkan Conference on Operational Research* (pp. 265-273). Springer International Publishing.

[3] Delibašić, B., Radovanović, S., Jovanović, M. Z., Obradović, Z., Suknović, M., & Lojić, R. (2022). A study on ski groups size and their relationship to the risk of injury. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 17543371221118193.

[4] Delibašić, B., Radovanović, S., Jovanović, M., Obradović, Z., & Suknović, M. (2018). Ski injury predictive analytics from massive ski lift transportation data. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, *232*(3), 208-217.

[5] Dickson, T. J., & Terwiel, F. A. (2021). Injury trends in alpine skiing and a snowboarding over the decade 2008–09 to 2017–18. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *24*(10), 1055-1060.

[6] Fu, X. L., Du, L., Song, Y. P., Chen, H. L., & Shen, W. Q. (2022). Incidence of injuries in professional snow sports: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*, *11*(1), 6-13.

[7] García-Germán, D., Samitier, G., & Hörterer, H. (2022). Skiing. In *Epidemiology of Injuries in Sports* (pp. 119-123). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

[8] Khatri, I. (2019). Information technology in tourism & hospitality industry: A review of ten years' publications. *Journal of Tourism and Hospitality Education*, *9*, 74-87.

[9] Mueller, T., Ruedl, G., Ernstbrunner, M., Plachel, F., Fröhlich, S., Hoffelner, T., ... & Ernstbrunner, L. (2019). A prospective injury surveillance study on ski touring. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, *7*(9), 2325967119867676.

[10] Pearl, J. (2019). The seven tools of causal inference, with reflections on machine learning. *Communications of the ACM*, *62*(3), 54-60.

[11] Radovanovic, S., Delibasic, B., Suknovic, M., & Matovic, D. (2019). Where will the next ski injury occur? A system for visual and predictive analytics of ski injuries. *Operational Research*, *19*, 973-992.

[12] Radovanović, S., Bohanec, M., & Delibašić, B. Extracting decision models for ski injury prediction from data. *International Transactions in Operational Research*.

[13] Rugg, C. D., Malzacher, T., Ausserer, J., Rederlechner, A., Paal, P., & Ströhle, M. (2021). Gender differences in snowboarding accidents in Austria: a 2005–2018 registry analysis. *BMJ Open*, *11*(10), e053413.

[14] Schölkopf, B. (2022). Causality for machine learning. In *Probabilistic and Causal Inference: The Works of Judea Pearl* (pp. 765-804).

[15] Zheng, X., Aragam, B., Ravikumar, P. K., & Xing, E. P. (2018). Dags with no tears: Continuous optimization for structure learning. *Advances in neural information processing systems*, *31*.

# ПОСЛОВНА АНАЛИТИКА
# BUSINESS ANALITICS

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА МОДЕЛА ПРЕДИКТИВНЕ АНАЛИТИКЕ У ПРАЋЕЊУ ЛОЈАЛНОСТИ ПОТРОШАЧА

# APPLICATION OF THE PREDICTIVE ANALYTICS MODELS IN MONITORING CONSUMER LOYALTY

БОГДАН ШОШЕВИЋ[1], ЈАСНА СОЛДИЋ АЛЕКСИЋ[2], БИЉАНА CHRONEOS КРАСАВАЦ[3]

[1] Shoppster d.o.o, Београд, bogdan.sosevic@shoppster.com
[2] Универзитет у Београду – Економски факултет, Београд, jasna.soldic@ekof.bg.ac.rs
[3] Универзитет у Београду – Економски факултет, Београд, biljana.krasavac@ekof.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Овај рад има за циљ да прикаже могућности примене изабраних модела предиктивне анлитике у праћењу лојалности потрошача. Лојалност потрошача се огледа у спремности потрошача да у континуитету користе производе, односно услуге, једне компаније. Једна од метрика која се користи за праћење овог феномена јесте стопа одустајања потрошача од коришћења производа/услуга (енг. churn rate), која представља проценат корисника који су престали да користе производ или услугу неке компаније током одређеног временског интервала. За предвиђање ове стопе најчешће се користе модели предиктивне аналитике који решавају класификациони проблем. У раду су примењени следећи класификатори: логистичка регресија, модел К најближих суседа, дрво одлучивања и ансамбл модел случајне шуме. Резултати емпиријске анализе примене ових модела, на примеру једне телекомуникационе компаније, показали су високу тачност предвиђања за све моделе – преко 70%. Најбоље резултате, по већини мера успешности класификације, показао је модел логистичке регресије.*

***Кључне речи:*** *лојалност потрошача, предиктивна аналитика, стопа одустајања потрошача од коришћења производа/услуга (енг. churn rate)*

***Abstract:*** *This paper aims to show the possibilities of applying selected models of predictive analytics in monitoring consumer loyalty. Consumer loyalty is reflected in the willingness of consumers to continuously use the products, or services, of a company. One of the metrics used to monitor this phenomenon is the churn rate, which represents the percentage of users who stopped using a company's product or service during a certain time interval. Predictive analytics models that solve the classification problem are most often used to predict this rate. The following models, i.e. classifiers, were applied in the paper: logistic regression, K nearest neighbor model, decision tree and random forest ensemble model. The results of the empirical analysis on the example of a telecommunications company, showed a high prediction accuracy for all models - over 70%. The best results, according to most measures of classification success, were shown by the logistic regression model.*

***Keywords:*** *consumer loyalty, predictive analytics, churn rate.*

---

## 1. УВОД

Један од значајних проблема са којима се многе компаније суочавају јесте проблем одустајања потрошача од коришћења производа/услуга компаније - одлива потрошача, што има директне последице на приход предузећа. Одлив потрошача је посебно велики проблем у услужним секторима са висококонкурентним услугама. Стога је јасно да је могућност предвиђања потрошача који намеравају (са високом вероватноћом) да напусте компанију, изузетно важна, посебно ако се обави на време. С обзиром на чињеницу да се одлив потрошача односи на губитак постојећих потрошача, евидентна је директна повезаност овог феномена са лојалношћу потрошача. Предузећа код којих је стопа одлива купаца и потрошача висока, суочавају се не само са трошковима напуштања постојећих потрошача, већ и са трошковима аквизиције нових. Из тих разлога је за предузећа, као пружаоца услуга, важно правовремено предвиђање потрошача који би могли потенцијално да га напусте. Имајући у виду ове чињенице, у раду ће се приказати могућности примене изабраних модела предиктивне аналитике у праћењу и предвиђању лојалности потрошача.

У последњих неколико деценија, упоредо са напредовањем информационо-комуникационих технологија и свеопштом дигитализацијом, јавља се значајан пораст интересовања за све области које се баве аналитиком података. Овде се посебно мисли на област предиктивне аналитике, као важне компоненте пословне аналитике. Може се рећи да је предиктивна аналитика грана пословне аналитике која користи резултате дескриптивне и прескриптивне аналитике у циљу откривања законитости, кластера, одређивања образаца понашања у подацима и предвиђања будућих трендова. Поред стандардних алата предиктивне аналитике из домена статистичких и економетријских метода и модела, данас се предиктивна аналитика све више ослања на савремене концепте и алате из домена вештачке интелигенције, као што су многи алгоритми машинског учења. Захваљујући развоју модела предиктивне аналитике мапирање потрошача који би потенцијално могли да престану са коришћењем производа и/или услуга компаније значајно је унапређено.

У овом раду је, применом програмског језика *Python* и алгоритама из домена машинског учења, извршена предикција стопе напуштања потрошача (енг. *churn rate*). Како се ради о предвиђању бинарног типа (одлука: да/не) у раду су примењени следећи модели за решавање проблема класификације: логистичка регресија, алгоритам К најближих суседа (KNN алгоритам), дрво одлучивања и модел ансамбла - случајне шуме (енг. *random forest*). На основу добијених вредности метрика успешности класификације за наведене алгоритме, приказана је компаративна анализа добијених резултата.

## 2. ЛОЈАЛНОСТ И САТИСФАКЦИЈА ПОТРОШАЧА

Лојалност и сатисфакција потрошача су важни фактори за дугорочни успех предузећа. Циљ сваког пословања јесте стварање одговарајућег нивоа профита, али да би се постигла дугорочна профитабилност, потребно је имати базу лојалних потрошача. Стога компаније теже успостављању партнерских односа са потрошачима и спроводе истраживања у вези са ставовима потрошача о квалитету њихових производа и услуга, ценама, врстама промоције и каналима дистрибуције. На основу добијених резултата, компаније креирају маркетинг стратегије које имају за циљ да се обезбеди сатисфакција потрошача.

Појам сатисфакције могуће је дефинисати као "степен у којем су жеље и потребе потрошача у вези са производом/услугом или другим релацијама са конкретним предузећем, у складу са очекивањима потрошача или превазилазе иста, чиме је загарантована сигурна куповина" [9]. Степен задовољства потрошача извршеном куповином директно утиче на поновни избор истог бренда те стварања лојалности код потрошача. Под појмом лојалност уобичајено се подразумева понављање процеса куповине, што је резултат позитивног искуства потрошача, његовог задовољства и вредности производа или услуга које он трансакцијом добија. Процес стварања лојалних поторошача састоји се из четири фазе:

- Прва фаза – потрошачи на основу доступних информација врше процену, што на крају доводи до тога да један бренд више преферирају у односу на остале брендове у истој грани.
- Друга фаза – за разлику од прве фазе која је когнитивно доминантна, у овој фази долази до емоционалног повезивања купца са брендом. Купац се повезује са брендом на основу ранијих искустава у коришћењу производа/услуга.
- Трећа фаза – у овој фази понашање купца је јасно усмерено ка одабраном бренду. Куповине постају све учесталије.

- Четврта фаза – купац експлицитно изражава своју опредељеност и преференције ка изабраном бренду. У свим ситуацијама настоји да купује производе/услуге од истог бренда; потпуна посвећеност бренду.

Треба имати на уму да иако између сатисфакције и лојалности потрошача постоји значајна директна корелација, повећање степена сатисфакације не доводи увек до пропорционалог повећања степена лојалности потрошача. Наиме, нису сви купци подједнако важни за предузеће – *правило 80-20* (20% купаца обезбеђује 80% продаје/профита). Из тог разлога важно је спровести детаљну анализу вредности потрошача које они имају за предузеће. Компаније се по правилу одлучују да граде дугорочне односе са својим највернијим и највреднијим потрошачима. Иако на први поглед ова одлука делује рационално и исправнно, јер привлачење нових купаца изискује више напора, времена и новца, број иницијално освојених купаца опада током времена.

## 3. ОДУСТАЈАЊЕ ПОТРОШАЧА ОД КОРИШЋЕЊА ПРОИЗВОДА/УСЛУГА

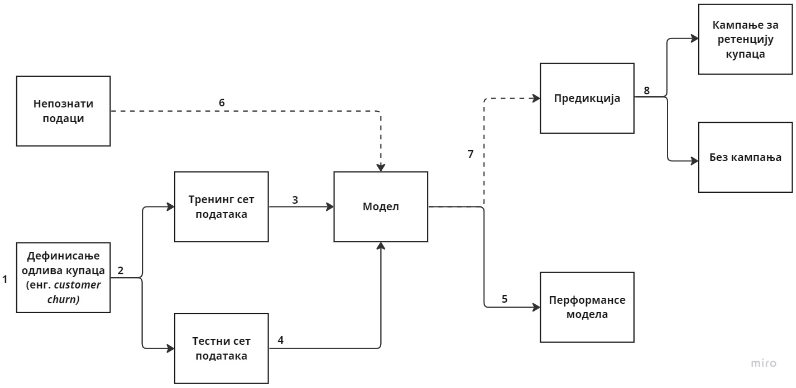
Одустајање потрошача од коришћења производа/услуга или одлив потрошача - (енг. *consumer churn)* представља ситуацију у којој постојећи потрошачи или корисници производа/услуга компаније прекидају сарадњу са предузећем/брендом [1, стр. 172]. Одлив потрошача се може манифестовати на различите начине: престанак куповине производа или коришћења услуге, прелазак код конкурентског предузећа или смањење фреквенције куповине производа или коришћења услуга. У литератури се разликују две главне врсте одлива потрошача: добровољан и невољан [6, стр. 36]. Невољан одлив није узрокован избором потрошача. Ову појаву могуће је дефинисати као ситуацију када компанија одлучи да уклони одређеног купца својих производа због неиспуњавања одређене обавезе. Главни разлози невољног напуштања су: покушаји преваре, обавезе нису измирене на време или услед неактивности корисника. Добровољно напуштање представља ситуацију када купац самостално, услед незадовољства доноси одлуку о прекиду сарадње тј. коришћења услуге.

Који су узроци одлива потрошача? Један је од основних факора који утиче на одлазак постојећих клијената је квалитет производа или услуга. Према истраживањима Boulding, W. и сарадника [2] клијенти показују склоност да пређу код конкуренције уколико су незадовољни производом или услугом које су до тада користили. Други најчешћи разлог напуштања потрошача јесте њихово виђење да је цена производа/услуге превисока. Следећи разлог напуштања, представља лоше сервисирање купаца тј. лоша корисничка подршка. Затим, имајући у виду да персонализација представља основ за диференцирање и постизање конкурентске предности, недостатак персонализације може утицати на одлив потрошача. Понуда конкуренције такође има утицаја на њихов одлазак. Истраживање које су спровели Boulding, W. и сарадници [2] показало је да су потрошачи склони да пређу код конкуренције, ако та конкуренција нуди бољи производ или услугу, погодности у виду бесплатне доставе или ниже цене. Такође, Kumar,V., [5] истиче да доступност нових и иновативних производа или услуга коју нуде конкуренти, опредељује потрошаче да напусте тренутни бренд. Како би остале у игри, компаније су принуђене да стално развијају и унапређују своје производе и/или услуге.

Када је реч о главним разлозима за одлив корисника у телекомуникационој индустрији, издвајају се следећи елементи: цена (47 %), лош квалитет мреже (11 %), покривеност услуга (11 %), корисничка подршка (13 %) [6, стр. 142].

За мерење одустајања потрошача од коришћења производа/услуга компаније користи се стопа напуштања (енг. *churn rate*), која представља проценат корисника који су престали да користе производ или услугу неке компаније током одређеног временског интервала. Јасно је да свака компанија треба да тежи да ова стопа буде што нижа. Према истраживању које је спроведено 2014. године од стране *Harvard Business School*, повећање задржавања потрошача за 5% може довести до повећања профита од 25%-95% [4]. Ова чињеница посебно указује на важност улагања напора у повећање ретенције потрошача.

Процес предвиђања стопе одлива потрошача приказан је на слици 1.



**Слика 1.** Процес предвиђања стопе одлива потрошача (*churn rate*) [1, стр. 175]

Први корак представља дефинисање одлива корисника производа/услуга у зависности од индустрије (прекид уговора, прекид претплате итд). Након тога је потребно сет података који компанија поседује о потрошачима поделити на два подскупа (тренинг и тест сет података). У трећем кораку креира се предиктивни модел и врши „обука“ модела. После извршене процене перформанси модела, модел се примењује за предикцију на до тада непознатом сету података о корисницима. У зависности од добијених резултата предикције, доноси се одлука о предузимању одређене пословне акције. За кориснике са високом вероватноћом напуштања компаније креира се посебна кампања и понуда, док се за кориснике чија је вероватноћа напуштања компаније ниска, најчешће, не предузимају посебне активности.

Универзални рецепт за задржавање потрошача не постоји. Стручњаци из области аналитике купаца (енг. *customer analytics*) слажу се да је један од најбољих начина за оптимизацију стопе напуштања, стварање осећаја код корисника производа/услуга да је виђен и цењен кроз различите облике персонализације и програме лојалности. Такође, од посебне је важности квалитетно корисничко и постпродајно искуство. Бити у контакту са корисницима је још један пример добре стратегије за смањење стопе напуштања. Велики број корисника сматра да би бар једном недељно требало да добијају публикације (обавештења) о новостима (енг. *newsletter*) од стране бренда чије производе или услуге користе. Захваљујући развоју интернета и информационо-комуникационих технологија, данас је доступан велики број алата за успешну сарадњу са клијентима попут: *SAP Marketing Cloud, Salesforce Marketing Cloud, Microsoft CRM 365* и слично.

## 4. ПОДАЦИ И ПРИМЕЊЕНА МЕТОДОЛОГИЈА ЕМПИРИЈСКЕ АНАЛИЗЕ

У раду су анализирани подаци о понашању потрошача једне телекомуникационе компаније *Telco Customer Churn,* који су преузети из репозиторијума података науке о подацима [8]. Овај скуп података се састоји од 7043 редова (опсервација) и 21 колоне (атрибута). Сваки ред у скупу података представља једног корисника (потрошача), а свака колона приказује атрибут који описује клијента компаније. У датом скупу података укључене су следеће информације о корисницима услуга:

- Демографске карактеристике корисника,
- Социо-економске карактеристике корисника,
- Низ услуга компаније на које је сваки корисник претплаћен,
- Време коришћења услуга компаније и тип уговора,
- Начин плаћања услуга,
- Месечни и укупни трошкови за сваког корисника,

- Информација да ли је корисник у претходном месецу одустао од коришћења услуга компаније (да / не).

Најпре је спроведено претпроцесирање подата (пречишћавање податка, прекодирање, третман недостајућих вредности и сл.), а затим експлоративна анализа података (енг. *EDA*). Наведене процедуре су реализоване применом програмског језика Python, односно специјализованих библиотека у оквиру овог програмског окружења: *pandas, numpy, seaborn* и *matplotlib.* Идеја експлоративне анализе података је да се:

- истражи структура података (тип података, обим података, атрибути и сл.),
- уоче недостајуће вредности и евентуалне грешке у подацима,
- открије расподела података и процене њени параметри,
- омогући скицирање модела тј. односа између промењљивих (атрибута),
- омогући идентификовање кључних промењљивих.

За потребе предвиђања стопе напуштања потрошача (енг. *churn rate*) у раду су примењени следећи модели предиктивне аналитике [3, 7].:

- Логистичка регресија (енг. *logistic regression*),
- Алгоритам К најближих суседа (енг. *k-nearest neighbors* – KNN алгоритам),
- Дрво одлучувања (енг. *decision tree* – CART),
- Алгоритам случајне шуме (енг. *random forest*).

## 5. РЕЗУЛТАТИ ЕМПИРИЈСКЕ АНАЛИЗЕ

Резултати примењених класификационих модела могу се упоредити на основу познатих метрика за оцену ваљаности класификатора, а које су засноване на матрици класификације (енг. *confusion, classification matrix*). Матрица класификације (у случају бинарне одлуке) садржи четири вредности: TP – тачно класификовани позитивни елементи (енг. *true positive*), TN – тачно класификовани негативни елементи (енг. *true negative),* FP – погрешно класификовани позитивни елементи (енг. *false positive*) и FN – погрешно класификовани негативни елементи основног скупа (енг. *false negative*). На основу ових вредности изведене су следеће метрике перформанси модела класификатора:

- Тачност класификације (енг, *accuracy*)
- Сензитивност или одзив (енг. *sensitivity, recall*)
- Прецизност (енг. *precision*)
- F1 мера
- AUC површина испод ROC криве.

Тачност класификационог модела даје општу слику броја тачно класификованих елемената у односу на укупан број свих елемената скупа, тј. (TP+TN)/(TP+TN+FP+FN). Сензитивност или одзив (енг. *sensitivity, recall)* даје одговор на питање колико је позитивних елемената добро класификовано, тј. TP/(TP+FN). Прецизност (енг. *precision)* показује учешће стварно позитивних елемената у скупу позитивних елемената добијених моделом тј. TP/(TP+FP). С обзиром на чињеницу да се повећањем сензитивности смањује прецизност модела, и обрнуто, у пракси се често прави компромис између ове две мере и примењује се F1 мера. Ова мера представља хармонијску средину сензитивности и прецизности. Последња мера која се примењује јесте AUC, тј. површина испод ROC криве. Ова мера представља способност класификатора да разликује елементе који припадају различитим класама. Вредност ове метрике креће се у интервалу од 0 до 1. Уколико је вредност ове мере већа од 0,5 утолико се ради о бољем класификационом моделу. У табели 1 приказани су резултати примене четири алгоритма предиктивне аналитике у предвиђању напуштања телекомуникационе компаније од стране њених клијената.

На основу добијених резултата можемо закључити да је алгоритам логистичке регресије показао најбоље перформансе у класификацији клијената. Алгоритам логистичке регресије је

**Табела 1:** Компаративна анализа резултата примене алгоритама предиктивне аналитике (у %)

| Модел | Accuracy | Recall | Precision | F1 score | ROC AUC |
|---|---|---|---|---|---|
| Логистичка регресија | 80,76 | 52,64 | 66,44 | 58,74 | 71,64 |
| Дрво одлучивања | 71,33 | 45,36 | 44,95 | 45,15 | 62,91 |
| KNN алгоритам | 76,68 | 54,10 | 55,31 | 54,70 | 69,36 |
| Модел случајне шуме | 77,35 | 47,72 | 57,84 | 52,30 | 67,74 |

само у случају сензитивности показао лошије резултате у односу на KNN алгоритам, а по свим осталим метрикама се показао као најбољи класификатор.

## 6. ЗАКЉУЧАК

Примена модела предиктивне аналитике све више постаје неизоставни део спровођења концепта пословне аналитике у савременим пословним системима. Разлог за то је способност ових модела да на основу историјских података предвиде догађаје који ће се потенцијално десити у будућности. Предмет овог рада је примена модела предиктивне аналитике у праћењу лојалности потрошача, кроз предикцију стопе одлива потрошача. Саму појаву одлива потрошача није могуће спречити. Она ће увек бити присутна у мањој или већој мери. Међутим, задатак предузећа је да на време предвиди, односно лоцира потрошаче који би могли да напусте бренд, и да благовременом и адекватном понудом то спречи.

У раду је разматрана могућност примене четири модела предиктивне аналитике - логистичке регресије, модела К најближих суседа, дрво одлучивања и ансамбл модела случајне шуме на предвиђање одлива клијената једне телекомуникационе компаније. Резултати емпиријске анализе показују да је прецизност свих модела изнад 70%, али да најбоље перформансе класификације клијената (на оне који ће напустити коришћење услуга и оне који неће отказати коришћење услуга компаније) даје модел логистичке регресије – 81%. И по другим мерама успешности класификације модел логистичке регресије је показао предност у односу на друге моделе, изузев мере сензитивности класификатора, где је најбољи резултат добијен применом KNN алгоритма.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Baesens, B. (2014). *Analytics in a big data world: The essential guide to data science and its applications.* John Wiley & Sons.

[2] Boulding, W., Staelin, R., Ehret, M., & Johnston, W. J. (2005). A customer relationship management roadmap: What is known, potential pitfalls, and where to go. *Journal of marketing*, *69*(4), 155-166.

[3] Bruce. P. & Bruce, A (2017): *Practical Statistics for Data Scientists*, O'Reilly Media, Inc. Sebastopol, CA 95472.

[4] Gallo, A. (2014). The value of keeping the right customers. *Harvard business review*, 29(10), 304-309.

[5] Kumar, V. (2019). Customer churn prediction using machine learning techniques. *Journal of big data,* 6(1), 1-17.

[6] Mattison, R. (2001). *Telecom churn management: The golden opportunity*. APDG Pub., 2001.

[7] Shmueli, G., Bruce, P.C., Yahav, I., Patel, N.R., Lichtendahl, K.C, (2017): *Data Mining for Business Analytics: Concepts, Techniques, and Applications*, John-Wiley & Sons, Inc.

[8] Telco Customer Churn, https://www.kaggle.com/datasets/blastchar/telco-customer-churn.

[9] Usta, M., Berezina, K., & Cobanoglu, C. (2011). The impact of hotel attributes' satisfaction on overall guest satisfaction. https://scholarworks.umass.edu/cgi/viewcontent.cgi.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ОДРЕЂИВАЊЕ ПРЕФЕРЕНЦИЈА СТАНОВНИШТВА ПРЕМА СУПРОСТАВЉЕНИМ ЕФЕКТИМА ИНВЕСТИЦИОНИХ ПРОЈЕКАТА

# DETERMINING CITIZENS' PREFERENCES TOWARDS THE CONFLICTING EFFECTS OF INVESTMENT PROJECTS

МИЛА КРСТИЋ[1], ОГЊЕН НИКОЛИЋ[2], МАРИЈА КУЗМАНОВИЋ [3]

[1] Факултет организационих наука, Београд, mk20223659@student.fon.bg.ac.rs
[2] Факултет организационих наука, Београд, ognjen.nikolic@fon.bg.ac.rs
[3] Факултет организационих наука, Београд, marija.kuzmanovic@fon.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Многа истраживања баве се доказом теорије вредности-уверења-норма, по којој је однос појединца према животној средини условљен очекиваним последицама за које верује да ће то понашање проузроковати, као и усађеним личним вредностима. С друге стране, знатно мањи број студија испитује које последице представљају кључне окидаче понашања. У складу са тим, циљ овог рада је идентификовање ефеката које грађани Србије највише вреднују приликом доношења одлука о понашању и инвестицијама, у ситуацијама у којима постоје значајне економске и друге користи/трошкови насупрот трошковима/користима по животну средину. У ту сврху коришћена је истраживачка метода позната под називом Анализа дискретних избора, а разматрани су фактори везани за личну и колективну материјалну корист, али и еколошке и здравствене проблеме. Истраживање је спроведено на територији Републике Србије, а узорак су чинили грађани старији од 15 година. Поред преференција и ставова појединаца према животној средини, дугорочности последица одлука и свести о колективном интересу, идентификовани су и кључни фактори утицаја на њихове изборе.*

***Кључне речи:*** *Анализа дискретних избора, екологија, колективизам, преференције*

***Abstract****: A number of studies have focused on testing the theory of values-beliefs-norms, which posits that an individual's attitude towards the environment is influenced by the consequences they believe their behavior will cause, as well as their ingrained personal values. On the other hand, a significantly smaller number of studies examine the key triggers of behavior. In line with this, the aim of this study is to identify the factors that Serbian citizens value the most when making decisions about behavior and investments in situations where there are significant economic and other benefits/costs compared to environmental costs/benefits. To this end, the research method known as Discrete Choice Analysis was used, and factors related to personal and collective material benefits, as well as environmental and health issues, were considered. The research was conducted in the Republic of Serbia, with a sample consisting of citizens older than 15 years. In addition to individuals' preferences and attitudes towards the environment, the long-term consequences of decisions and awareness of collective interest, key factors influencing individuals' choices were identified.*

***Keywords:*** *Discrete choice analysis, ecology, collectivism, preferences*

---

## 1. УВОД

Иако се путем медија све више говори о значају екологије, тренутном нивоу загађења и могућој превенцији загађења, поставља се питање у којој мери су грађани једне државе заправо свесни које проблеме загађење животне средине може изазвати. На ово питање покушано је да се одговори у Кини, где су испитаници одговарали на скуп питања везан за еколошку свест и њихове животне навике, као и на питање да ли себе сматрају жртвом загађења. Свега 6% грађана одговорило је потврдно на последње питање [5]. Са друге стране, истраживање у истој држави показало је велики утицај загађења на развој и здравље деце, где се као најзначајније последице јављају астма, респираторне инфекције, иритације грудног коша, канцерогених последица, док су деца која су за време трудноће била изложена дуванском диму рађана нижег раста и мање тежине [1]. Поред тога, процењује се да је 2012. године је у овој држави на смрт 7 милиона људи утицало загађене ваздуха [10].

У Србији, права грађана на живот и развој човека у здравој животној средини регулишу се Законом о заштити животне средине [7]. У истраживању јавног мнења 2021. године грађани Србије су питање екологије рангирали као 4. приоритет државе, док је за Београђене екологија први приоритет. За остатак државе испред екологије су питања везана за економију државе, здравство и број радних места. На захтев да одговоре са којом тврдњом се највише слаже, 76% испитаника рекло је да се највише слаже да екологија и економија иду једна са другом, односно да економија није важнија од екологије и обрнуто [2].

Крајем 2021. године дошло је до измена Закона о експропријацији и усвајања Закона о референдуму. Одговор грађана Србије на ово био је низ протеста и петиција, који су у почетку били мирни, а касније постали све насилнији. На протестима је захтевано осим одбацивања поменутих одредби и одлазак компаније Рио Тинто из Србије [3]. Након што је објављена информација да је Београд најзагађенији град на свету [8], низ еколошких протеста настављен је, само са мотивом борбе против загађења ваздуха.

Контрадикторност у подацима о мањку знања о последицама загађења међу људима са једне, вредновање екологије иза проблема економије, незапослености и здравства са друге и огромног броја протеста против загађења са треће стране довео је до проблема овог истраживања, који се односи на разумевање ставова и понашања грађана Србије, не само према екологији, већ и према утилитистичким ставовима, односно шта је оно што грађани Србије сматрају најбољим по друштво (или најмање лошим), и да ли и у којој мери се понашају у складу са тим. Користећи теорију вредности-уверења-норми, која говори о томе да ћемо се понашати у складу са последицама за које верујемо да ће наше понашање донети, а да је то веровање условљено нашим личним усађеним вредностим [9], идеја је да се испитају управо те последице које покрећу грађане Србије на делање.

Предмет истраживање је процена утицаја различитих компонената (позитивних или негативних по друштво и/или појединца) на одлуке и понашање појединца. Циљ истраживања је утвђивање преференција испитаника према различитим ефектима и нивоима тих ефеката потенцијално еколошки опасних, али економски профитабилних пројеката, какви су отварање рудника, на одабир најприхватљивије опције за друштво. Коришћена методологија је анализа дискретних избора у комбинацији са питањима дизајнираним помоћу ликертове скале и демографским питањима.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА

Истраживање је спроведено применом Анализе дискретних избора (*Discrete Choice Analysis* - DCA). Анализе дискретних избора подразумева да испитаник кроз низ задатака врши избор једне од неколико понуђених алтернатива. У сваком задатку приказују се две или више алтернатива, од могућих $J$ алтернатива. Свака од ових алтернатива комбинује различите нивое ($l$) истих атрибута ($k$). Као резултат овакве анализе добије се нумерички ниво преференција испитаника према различитим варијаблама (атрибутима), односно значај сваког појединачног атрибута и његовог нивоа за испитаника, као и евентуалне везе које постоје између атрибута.

Уколико испитанике означимо са $i$ ($i$=1,2.....$I$), могуће алтернативе са $j$ ($j$=1,2....$J$), појединачне атрибуте алтернатива са $k$ ($k$=1,2...$K$) и нивое сваког атрибута са $l$ ($l$=1,2....$L_k$) једначином:

$$U_{ij} = V_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

формулише се укупна корисност ($U_{ij}$) алтернативе $j$ за испитаника $i$. У једначини (1), $Vij$ представља детерминистичку компоненту:

$$V_{ij} = \sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L_k} \beta_{ikl}x_{jkl};\ \ x_{jkl} = \begin{cases}1, & l \in \mathrm{j}\\ 0, & l \in \mathrm{j}\end{cases} \tag{2}$$

у којој је са $\beta_{ikl}$ означен значај нивоа $l$ атрибута $k$ за испитаника $i$, који се назива парцијална корисност (*part-worth utility*), док је са $\varepsilon_{ij}$ означен неуочљив/неопажен извор значаја атрибута, као последица у варијацији преференција [4]. Важно је напоменути и да сваки испитаник пролази кроз једнак број кругова са једнаким бројем алтернатива приликом процеса одабира, али комбинација понуђених алтернатива није иста за сваког испитаника.

За процену параметара модела (1), могу се користити бројне методе, међу којима су Логит анализа и Хијерархијска Бајесова метода.

## 3. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА

За истраживање је коришћена платформа Conjoint.ly [6]. Упитник је обухватао три целине. Прва целина је скуп питања о социо-демографским карактеристикама испитаника, док се у другом делу од испитаника захтевало да на ликертовој скали искажу своје (не)слагање са датом тврдњом. Тврдње су конципиране тако да испитају:

- колико испитаник себе сматра еколошки освешћеном особом и у којој мери сматра да је питање животне средине значајно;
- у којој мери се испитаник тренутно понаша еколошки одрживо и у којој мери је спреман да своје понашање промени у будућем периоду;
- да ли испитаник сматра да је колективни интерес испред интереса појединца.

Трећи део студије састојао се управо од блокова алтернатива. Коришћен пример за ово истраживање је хипотетичко отварање рудника у месту испитаника. У табели 1 приказани су атрибути и нивои атрибута (потенцијални ефекти) обухваћени студијом. Испитаницима је приказано осам блокова са по три алтернативе, при чему су морали да одаберу алтернативу која им се чини најприхватљивијом. На слици 1 приказан је пример једног задатка избора.

**Табела 1:** Атрибути и нивои обухваћени студијом

| | **Атриубут** | **Нивои атрибута** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Позитивни ефекти** | Лична корист | Једнократна (продаја земљишта и/или друго) | Континуална (рента, плата и/или запсолење) | | Без личне користи |
| | Број нових радних места | 5000 | 2000 | 500 | 50 |
| | Повећање животног стандарда | 10% | 5% | 2% | Без повећања стандарда |
| **Негативни ефекти** | Утицај на екологију* | Висок | Умерен | Релативно низак | Без утицаја на екологију |
| | Канцерогени ефекти (учесталост) | 1 od 10 становника | 1 од 100 становника | 1 од 1000 становника | Без канцерогрених ефеката |
| | Други здравствени проблеми**(% становника) | 10% | 5% | 2% | Не постоје |

*Утицај на екологију може бити висок (сеча шума, нестанак воде за пиће, неплодност земљишта), умерен (сеча шума, нестанак воде за пиће) и релативно низак (неплодност земљишта)

** Други здравствени проблеми подразумевају респираторне инфекције, инфекције коже, грип и/или друге проблеме

## 4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Одговори на анкету прикупљани су 10 дана (од 16. до 25. маја 2023. године) и у том периоду прикупљено је 237 одговора (24,7% од свих испитаника који су приступили анкети), 72,6% је отворило анкету али није довршило одговарање до краја, док је 2,7% одговора одбачено због лошег квалитета. Већина одговора прикупљена је путем канала друштвених мрежа, а узорак су чинили су сви грађани Србије старији од 15 година.

## 4.1 Опис узорка

Просечна старост испитаника је 29.4 (СД = 10,7) године, 41,4% били су мушкарци, 57,8% биле су жене. Највећи број становника био је из Београда (39,7%), Лознице (26,6%), Новог Сада (11,8%) и Бора (2,5%), док је осталих 19,4% било из других градова Србије. Запослених је 47,3%, незапослених 8,9%, 35% су незапослени студенти, 7,2% су запослени студенти, док је свега 1,7% пензионера. 53,2% испитаника се изјаснило да нема и не планира потомство у скорије време, док је просечно задовољство личним финансијама 3 на скали од 1 до 5 (СД = 1.1). У Табелама 2 и 3 приказани су резултати овог дела истраживања.

**Табела 2**: Ставови испитаника

| Тврдња | Средња вредност | Стандардна девијација |
|---|---|---|
| Сматрам да је питање животне средине прецењено | 1,8 | 1,1 |
| Сматрам себе еколошки освешћеном особом | 4,0 | 1,0 |
| Сматрам да моје свакодневне навике доприносе загађењу животне средине | 2,7 | 1,2 |
| Загађење је значајно утицало на моје или здравље мени блиских људи | 3,4 | 1,2 |
| Забринут/ла сам за угроженост здравља себе и својих најближих од последица загађења | 4,1 | 1,1 |
| Спреман/на сам да на посао идем бициклом/пешке како бих допринео/ла смањењу загађења | 3,6 | 1,4 |
| Купујем производе који су у биоразградивој амбалажи без обзира да ли су скупљи | 2,6 | 1,2 |
| Био/ла бих спреман/на да плаћам еколошки порез | 3,5 | 1,4 |
| Био/ла бих спреман/на да престанем да купујем производе од компанија које у великој мери загађују средину | 4,0 | 1,2 |
| Сматрам да је колективни интерес испред интереса појединца | 4,1 | 1,1 |

Иако се испитаници у великој мери не слажу са тврдњом да је питање животне средине прецењено и себе сматрају еколошки освешћеним, може се приметити да знатно мање сматрају да њихове навике доприносе загађењу животне средине. Поред тога, тврдња да је колективни интерес изнад интереса појединца има висок резултат и просечну оцену 4, приближно 50% испитаника бар некада је потписало петицију, а у еколошким акцијама учествовало је мање од две петине испитаника. Може се приметити и да испитаници тврде да су спремни у већој мери на одрицање (материјално и/или временско) у корист смањења загађења, али да то не раде у великој мери (куповина производа у биоразградивој амбалажи - оцена 2,6 у Табели 3). Испитаници су у већој мери забринути за здравље (оцена 4,1) него што сматрају да је загађење до сада утицало на њихово здравље (оцена 3,4).

**Табела 3:** Одговори на питања везана за спроведене акције

| Тврдња | ДА | НЕ |
|---|---|---|
| Потписао сам једну петицију у протеклих годину дана | 49,8% | 50,2% |
| Учествовао/ла сам у некој еколошкој акцији | 38,0% | 62,0% |
| Учествовао/ла сам у протестима против загађења | 35,4% | 64,6% |

## 4.2 Агрегиране преференције

Резултати анализе агрегираних преференција (преференција на нивоу узорка) дати су у Табели 4, која укључује релативни значај сваког атрибута, као и релативни значај сваког нивоа унутар атрибута у односу на друге нивое. Модел показује средње квалитетно фитовање података

(McFadden-ov $R^2$ коефицјент је 63,8%). Једно од ограничења модела је да су испитаници морали да изаберу тачно једну опцију (није постојала опција без отварања рудника), те је идеја била изабрати најмање негативну (највише позитивну) од понуђених алтернатива.

**Табела 4:** агрегирани значај атрибута и нивоа атрибута

| Атрибут | Нивои атрибута | Значај нивоа атрибута | Значај атрибута |
|---|---|---|---|
| Лична корист | Једнократна | -1,2% | 8,0% |
| | Континуална | 0,8% | |
| | Без личне користи | 0,4% | |
| Број нових радних места | 5000 | 2,3% | 9,3% |
| | 2100 | 1,9% | |
| | 500 | -2,0% | |
| | 50 | -2,2% | |
| Раст животног стандарда | 10% | 1,4% | 8,1% |
| | 5% | 2,0% | |
| | 2% | -0,2 | |
| | Без повећања | -3,2% | |
| Утицај на екологију | Висок | -17,5% | 24,8% |
| | Умерен | -1,9% | |
| | Релативно низак | 6,4% | |
| | Без узицаја | 13,0% | |
| Канцерогени ефекти | 1 од 10 становника | -19,9% | 35,8% |
| | 1 од 100 становника | -8,5% | |
| | 1 од 1000 становника | 5,4% | |
| | Без канцерогених ефеката | 23,0% | |
| Други ефекти по здравље | 10% | -0,8% | 14,0% |
| | 5% | -1,3% | |
| | 2% | 2,4% | |
| | Непостојање | 6,8% | |

У складу са очекивањима, најзначајнији атрибут приликом доношења одлуке били су канцерогрени ефекти дате инвестиције. Ови ефекти одбијали су испитанике уколико су се појављивали код 1 од 10 или 1 од 100 становника, док су у минималној количини или без ефеката имали позитаван утицај на прихватање пројекта. Са друге стране други здравствени ефекти били су мање значајни од утицаја на екологију. Нивои других здравствених ефеката код 10% и 5% становништва негативно су утицали на избор, али у ниској мери (-0,8, и -1,3%). Код атрибута који се односио на личну материјалну корист, испитаници су више ценили континуалну него једногратну исплату, мада је сам атрибут најмање значајан. Међу позитивним колективним ефектима значајнији је број нових радних места (што је више нових радних места, ниво атрибута је значајнији), него животни стандард, код ког је интересантно да је ниво раста стандарда од 5% значајнији него раст од 10%. На основу добијеног значаја нивоа атрибута, „идеална инвестиција“, односно инвестиција која је најприхваљивија је таква да не изазива канцерогене ефекте, не утиче на екологију, нема друге здравствене ефекте, број радних места је порастао за 5000, животни стандард је порастао за 5%, а лична материјална корист за испитаника је континуална.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Највећа забринутост за канцерогене ефекте и изворе загађења, говори о стављању дугорочних последица испред краткорочних. То потврђује и виши приоритет отварања радних места и повећање животног стандарда у односу на личне користи. Остали здравствени ефекти јесу заједно са канцерогеним ефектима и загађењем испред позитивних ефеката, што говори у прилог томе да испитаници највећим користима сматрају најмање негативне ефекте по већину становника (утилитаристичка црта), док лични интерес испод свих осталих атрибута потврђује високу оцену тврдње да је колективни интерес изнад интереса појединца.

Једно од ограничења истраживања односи се на структуру узорка, која би се у даљим истраживањима требала равномерно проширити по градовима, са нагласком на најзагађеније и најмање загађене градове. Поред тога, у наставку анализа требало би обратити пажњу на стварно понашање грађана, када они јесу ти који доносе одлуку. У том смислу препорука је испитати додатно у којој мери се грађани заправо одричу личних бенефита, као и у којој мери на дневном нивоу доприносе загађењу. Такође би требало испитати преференције испитаника на индивидуалном нивоу и њихове корелације са ставовима и понашањима из другог дела истраживања, али и са социодемографским обележјима. Постављају се и два важна питања, у којој мери су испитаници свесни негативних ефеката уништења животне средине уколико они нису таксативно набројани као у нашем истраживању и да ли би се исто понашали уколико би знали да су они лични (или неко њима драг) погођени здравственим проблемима или су такви проблеми погодили само људе које не познају довољно добро.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Goldizen, F. C., Sly, P. D., & Knibbs, L. D. (2015). Respiratory effects of air pollution on children. *Pediatric Pulmonology*, 51(1), 94–108

[2] HEINRICH BÖLL STIFTUNG BELGRADE (2021). Rezultati istraživanja javnog mnenja o životnoj sredini i ekologiji. Preuzeto sa rs.boell.org: https://rs.boell.org/sites/default/files/2021-12/Istra%C5%BEivanje%20final-converted.pdf

[3] Kreni promeni (n.d.). STOP rudniku litijuma! Rio Tinto - Marš sa Drine. Preuzeto sa kreni-promeni.org: https://peticije.kreni-promeni.org/petitions/stop-rudniku-litijuma-rio-tinto-mars-sa-drine

[4] Kuzmanovic, M., Makajic-Nikolic, D., & Nikolic, N. (2019). Preference based portfolio for private investors: Discrete choice analysis approach. *Mathematics*, 8(1), 30.

[5] Munreo, N., (2013). Profiling the Victims: public awareness of pollution-related harm in China. *Journal of Contemporary China*, 23(86), 314–329.

[6] Online Conjoint.ly platform. Link: https://conjointly.com/guides/what-is-conjoint-analysis/

[7] Paragraf.rs. (n.d.). Zakon o zaštiti životne sredine. Preuzeto sa paragraf.rs: https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_zivotne_sredine.html

[8] Bjelotomović S. (2022) Belgrade was the most polluted city in the world last night. Preuzeto sa serbianmonitor.com Link: https://www.serbianmonitor.com/en/belgrade-was-the-most-polluted-city-last-night/

[9] Stern, P. C., & Dietz, T. (1994). The Value Basis of Environmental Concern. *Journal of Social Issues*, 50(3), 65–84

[10] World Health Organization (2014) 7 million deaths in 2012 due to air pollution, Preuzeto sa who.int: https://www.who.int/china/news/detail/25-03-2014-world-health-organization-7-million-deaths-in-2012-due-to-air-pollution

# УТИЦАЈ ФАКТОРА НА ОТКАЗИВАЊЕ РЕЗЕРВАЦИЈА У ХОТЕЛИЈЕРСТВУ

# THE INFLUENCE OF FACTORS ON RESERVATION CANCELLATIONS IN THE HOTEL INDUSTRY

НИКОЛА ЦВЕТКОВИЋ[1], АЛЕКСАНДАР ЂОКОВИЋ [2], МИЊА МАРИНОВИЋ [3]

[123] Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, nikola.cvetkovic@fon.bg.ac.rs, aleksandar.djokovic@fon.bg.ac.rs, minja.marinovic@fon.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *У овом раду представљена је примена бинарне логистичке регресије како би се извршила идентификација кључних фактора који утичу на отказивање резервација у хотелијерству и направио модел који може да предвиди да ли ће доћи до отказивања одређене резервације. Подаци су преузети из јавно доступних извора. Најпре извршена припрема и трансформација података у облик погодан за даљу анализу, а скуп података је подељен на тренинг и тест податке. Добијени модел логистичке регресије показао је значајне резултате и утицај фактора на појаву отказивања резервација. Модел је валидиран над тест подацима где су потврђене високе перформансе модела и његова моћ да добро предвиди вероватноћу да неће доћи до отказивања са тачношћу од 79,92%. Ови резултати пружају важне информације менаџменту хотела како би унапредили своје пословање.*

***Кључне речи:*** *логистичка регресија, пословна аналитика, мултиваријациона анализа. хотелијерство*

***Abstract:*** *In this paper, binary logistic regression has been applied in order to identify key factors influencing reservation cancellations in the hotel industry and create a model that can predict the probability of a specific reservation being canceled. Data was obtained from publicly available sources. Preprocessing and transformation were performed to prepare the data for further analysis. The dataset was divided into training and test data. The resulting logistic regression model showed significant results and the impact of factors on reservation cancellations. The model was validated using the test data, confirming its high performance and ability to accurately predict the probability of non-cancellation with an accuracy of 79.92%. These results provide important insights to hotel management in improving their business operations.*

***Keywords:*** *logistic regression, business analytics, multivariate analysis. hotel industry*

---

## 1. УВОД

Сведоци смо све веће глобалне мобилности и жеље људи да открију нове дестинације и доживе различите културе, туризам поред средства за одмор и релаксацију постао и кључни покретач економског развоја многих региона и земаља широм света где је некима од њих туризам главна привредна. Уз растућу потребу за путовањима и смештајним капацитетима, хотели играју виталну улогу у пружању смештаја и услуга гостима, обезбеђујући им удобност и искуство.

Хотели као највећи смештајни објекти сусрећу се великим изазовом профитабилности с обзиром на велики број смештајних јединица што директно утиче на огромне фиксне трошкове који морају бити покривени. Сходно томе, висок проценат попуњености смештајних капацитета је од изузетне важности како би се избегле празне собе током читаве сезоне. Поред директног утицаја на финансијски аспект који омогућава покривање трошкова, стабилан приход и остваривање профита, попуњеност хотела доприноси одржавању конкурентске предности на тржишту с обзиром да гости најчешће бирају хотеле са већом вероватноћом да ће имати позитивно искуство и услугу.

Са развојем информационих система, хотели имају могућност прикупљања и складиштења великог броја података везаних за резервације, госте као и друге релевантне информације. На овај начин хотел може ефикасно управљати својим операцијама и пружити персонализовану услугу својим клијентима. Применом различитих метода за анализу података, хотели могу идентификовати кључне индикаторе везане за њихово пословање и доношење одлука. *Zarezadeh* и други [1] су у свом раду истражили различите примене анализе података у управљању хотелским пословањем. Они су представили могућности примене анализе података у хотелијерству везане за управљање приходима, залихама, капацитетима и квалитетом услуге са циљем пружања увида у важност и потенцијал анализе података у оптимизацији пословања. Са друге стране, *Mariani* и *Baggio* [2] су се у свом истраживању фокусирали на различите аспекте примене анализе података као што су управљање дестинацијама, персонализацијом услуга, предвиђањем потражње и управљањем приходима што директно утиче на унапређење пословних процеса, пружање квалитетније услуге и доношење одлука~~.~~

У анализи података везаним за хотелијерску индустрију, различите мултиваријационе анализе могу се применити са циљем разумевања сложених односа варијабли и идентификације кључних фактора који утичу на пословне перформансе хотела. *Lobo* и други [3] у свом истраживању, применом линеарне регресије анализирали су кључне факторе као што су цена смештаја, оцене гостију и присуство додатних садржаја, док су *Yoon* и други [4] користили регресију како би анализирали различите социо-економске факторе и њихов утицај на развој туризма. Поред тога, анализа груписања често се користи како би се извршило груписање хотела или гостију на основу различитих индикатора [5]. Како би се анализирало задовољство корисника и њихове оцене у великом броју истраживања коришћене су факторска или дискриминациона анализа како би се анализирале преференције корисника и идентификовали главни фактори који утичу на задовољство [6,7].

Отказивање резервација представља значајан проблем у хотелијерству јер има директан утицај на финансијско пословање хотела а може утицати и на нарушавање репутације. Стога, разумевање фактора који утичу на отказивање резервација и развој модела за предвиђање ове појаве постаје кључно за управљање резервацијама и оптимизацијом пословања. У досадашњој анализи ове појаве углавном су коришћени различити алгоритми машинског учења као што су дрво одлучивања, случајне шуме или метода потпорних вектора (енг. *Support vector machine*) [8, 9].

У овом раду описан је поступак анализе података применом бинарне логистичке регресије како би се направио модел који предвиђа да ли ће доћи до отказивања резервације као и извршила идентификација главних фактора који утичу на отказивање од стране корисника. Кроз ефикасну обраду података, могуће је идентификовати узроке и факторе који су повезани са отказивањем резервација и омогућити хотелима да предузму правовремене кораке како би смањили проценат отказивања а самим тим и повећали проценат искоришћености капацитета.

Циљ овог истраживања је примена бинарне логистичке регресије и метода пословне аналитике на податке везане за резервације хотела како би се идентификовали кључни фактори који утичу на отказивање резервација и развио модел за предвиђање ове појаве што ће представљати огромну корист хотелима за њихово даље деловање и пословање.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА

За анализу података и идентификацију кључних фактора који утичу на отказивање резервација коришћен је јавно доступан скуп података који садржи информације о резервацијама великог ланца хотела који је преузет са интернет странице *Kaggle* [10]. Скуп података садржи различите индикаторе везане за резервације као што су број одраслих, број деце, време протекло од дана креирања резервације до дана доласка, тип тржишног сегмента и слично. Сви индикатори приказани су у Табели 1. Обим узорка је велики и садржи информације о 36275 резервација. За припрему и обраду података коришћен је програмски језик *R* и одређени пакети за спровођење статистичких анализа.

**Табела 1:** Индикатори из скупа података

| **Назив** | **Опис** |
|---|---|
| букинг_ид | јединствени идентификатор резервације |
| број_одраслих | број одраслих особа |
| број_деце | број деце |
| број_викенд_ноћи | број ноћи током викенда (субота, недеља) |
| број_радних_дана | број радних дана |
| тип_плана_оброка | тип плана оброка који је изабран |
| паркинг_место | да ли је клијент захтевао паркинг место |
| тип_смештаја | тип собе која је изабрана |
| резервација_боравак | број дана од датума резервације до датума доласка |
| година_доласка | година за коју је резервисано |
| месец_доласка | месец за који је резервисано |
| дан_доласка | дан за који је резервисано |
| тип_тржишта | тип тржишног сегмента |
| већ_боравио | да ли је корисник већ био гост |
| број_претходних_отказа | број претходних отказаних резервација |
| просечна_цена_по_соби | просечна цена по дану у еврима |
| број_специјалних_захтева | број специјалних захтева (нпр, поглед, високи плафон, итд.) |
| статус_резервације | да ли је резервација отказана или не |

Како би се подаци припремили за даљу анализу најпре је извршена провера недостајућих података где је утврђено да су сви подаци присутни. У наредном кораку, како би подаци били погодни за логистичку регресију, извршено је претварање категоријских променљивих у нумеричке тако што је за сваку категорију креирана нова променљива са вредностима 0 и 1, (где 0 означава да одређена категорија није била одабрана а 1 да јесте) [11]. Категорије које су имале мали број фреквенција искључене су из даљег разматрања и нису коришћене за даљу анализу [12]. Бинарна логистичка регресија представља статистичку методу која се користи за моделирање односа између бинарне променљиве (у овом случају променљиве која говори да ли резервација није отказана) и низа независних променљивих. Ова анализа омогућава процену вероватноће за сваку независну променљиву како би се одредио њен утицај на зависну променљиву.

Пре самог спровођења анализе и креирања модела бинарне логистичке регресије, скуп података подељен је на тренинг и тест скупове како би се на једном скупу података извршило тренирање модела, а тестирало на другом, све са циљем објективне процене перформанси модела. Скуп података подељен је тако што је 80% узорка насумично одабрано за тренинг сет, док је преосталих 20% касније коришћено за тестирање [12].

Над подацима за тренинг спроведена је бинарна логистичка регресија како би се направио модел и приказао утицај фактора на то да ли ће резервација бити отказана. На основу добијених вредности приказани су резултати за све променљиве које су ушле у модел, где је могуће видети да ли постоји статистички значајан утицај фактора на вероватноћу зависне променљиве, као и извршити анализу добијених коефицијената како би се одредио смер и утицај фактора на зависну променљиву.

За евалуацију модела коришћене су различите метрике тачности, прецизности и одзива како би се пружио увид у перформансе модела и истакао његов значај када је у питању предвиђање отказивања резервација у хотелијерству.

## 3. АНАЛИЗА И РЕЗУЛТАТИ

Овим истраживањем анализирани су фактори који утичу на отказивање резервација у хотелској индустрији на основу скупа података који је претходно преузет. Када су у питању описни показатељи скупа података, 33% резервација је отказано, док је највећи број резервација било за двоје одраслих (72%). Просечно време трајања резервације износи 2,2 дана, док медијана броја дана од креирања резервације до дана доласка износи 57 дана. Просечна цена по ноћи износи 103,42 евра са медијаном 99,45 евра. Када су у питању категоријске променљиве највећи број резервација везан је за собе које су типа 1 (77,5%) и типа 2 (16,7%), док је 76,7% резервација било везано за тип оброка 1.

Пре примене бинарне логистичке регресије извршено је претварање категоријских индикатора у нумеричке тако да је свака категорија постала нова дихотомна променљива. Индикатор *година_доласка* искључена је из модела јер су скоро све резервације биле из исте године, као и *дан_доласка* који представља категоријску променљиву која нема утицај на зависну променљиву. Категорије које су имале мали број фреквенција изузете су из даље анализе па су за даљу анализу поред непрекидних променљивих коришћене следеће категоријске које су претходно добијене: *тип_плана_оброка_1, тип_смештаја_1, тип_смештаја_4, тип_тржишта_офлајн, тип_тржишта_корпоративни.*

Над тренинг сетом података спроведена је бинарна линеарна регресије где зависна променљива представља да резервација није отказана, а за предикторе су изабране све остале променљиве из скупа. Добијени резултати приказани су у Табели 2.

**Табела 2:** Резултати модела линеарне регресије

| **фактор** | **Estimate** | **Std. Error** | **Z-value** | **Pr(>\|z\|)** |
|---|---|---|---|---|
| (константа) | 3,1304254 | 0,1399188 | 22,373 | < 0,001*** |
| број_одраслих | -0,0324153 | 0,0346970 | -0,934 | 0,350 |
| број_деце | -0,0771853 | 0,0502650 | -1,536 | 0,125 |
| број_викенд_ноћи | -0,1207930 | 0,0185578 | -6,509 | < 0,001*** |
| број_радних_дана | -0,0419663 | 0,0114989 | -3,650 | < 0,001*** |
| паркинг_место | 1,5412539 | 0,1271567 | 12,121 | < 0,001*** |
| резервација_боравак | -0,0162838 | 0,0002384 | -68,306 | < 0,001*** |
| месец_доласка | 0,0591559 | 0,0056137 | 10,538 | < 0,001*** |
| већ_боравио | 2,5176450 | 0,4661968 | 5,400 | < 0,001*** |
| број_претходних_отказа | -0,2161982 | 0,0706152 | -3,062 | 0,002** |
| просечна_цена_по_соби | -0,0186718 | 0,0006098 | -30,617 | < 0,001*** |
| број_специјалних_захтева | 1,4741403 | 0,0280960 | 52,468 | < 0,001*** |
| тип_плана_оброка_1 | 0,1908925 | 0,0386667 | 4,937 | < 0,001*** |
| тип_смештаја_1 | -0,6886510 | 0,0884364 | -7,787 | < 0,001*** |
| тип_смештаја_4 | -0,4458065 | 0,0935025 | -4,768 | < 0,001*** |
| тип_тржишта_корпоративни | 0,9184783 | 0,0953928 | 9,628 | < 0,001*** |
| тип_тржишта_офлајн | 1,9613024 | 0,0454107 | 43,190 | < 0,001*** |

На основу приказаних резултата утврђено је да све променљиве осим броја одраслих и броја деце имају утицај на вероватноћу отказивања резервације. Код свих осталих променљивих закључак је донет са нивоом значајности од 0,01 (Pr < 0,01). Када анализирамо утицај фактора на предвиђање отказивања резервација можемо видети да највећи утицај има променљива *резервација_боравак* која представља број дана који протекне од тренутка резервисања до почетка боравка корисника. Негативна вредност z-value која износи -68,306 показује да овај индикатор има велики утицај на предвиђање да ли ће нека резервација бити отказана. С обзиром да је предзнак негативан, то значи да ће са повећањем броја дана који представља размак између резервисања и доласка на резервацију долази до смањења вероватноће да резервација неће бити отказана, односно мањи број дана утиче на повећање вероватноће да неће доћи до отказа. Такође, *просечна_цена_по_соби* има негативну вредност (-30,617) као што је и очекивано, па тако већа цена смањује вероватноћу да резервација неће бити отказана. Поред тога, највећи позитиван утицај на предвиђање да резервација неће бити отказана имале су и променљиве *број_специјалних_захтева* са позитивном вредношћу од 52,468 што значи да се повећање броја специјалних захтева које има корисник позитивно утиче на то да резервација неће бити отказана, као и променљива *тип_тржишта_офлајн* (z-value = 43,190) што значи да резервација која је направљена офлајн позитивно утиче на то да неће доћи до отказивања исте.

За валидацију модела коришћен је тестни скуп података на којем је примењен претходно добијени модел логистичке регресије за предвиђање да ли резервација неће бити отказана и добијене су перформансе модела које се огледају у смислу прецизности, одзива и тачности. Добијена прецизност модела (енг. *precision*) износи 0,8939 што указује на веома висок проценат тачних позитивних предвиђања. Одзив (енг. *recall*) је такође имао високу вредност (0,8216) што указује на способност модела да ухвати значајан удео стварних позитивних инстанци. Коначно, израчуната је и тачност модела (енг. *accuracy*) која износи 0,7992 односно модел је у 79.92% случајева добро предвидео, што представља веома висок ниво тачности. Као још један од индикатора успешности модела израчуната је и вредност површине испод криве (енг. *AUC - Area Under the Curve*) која износи 0,857 и указује на то да модел има добру дискриминациону моћ у разликовању резервација које су отказане од оних које нису.

## 4. ЗАКЉУЧАК

У овом раду уз помоћ бинарне логистичке регресије извршена је идентификација утицаја различитих фактора на појаву отказивања резервација у хотелијерству, као и креиран модел логистичке регресије који служи за предвиђање да ли ће доћи до отказивања одређене резервације на основу више индикатора. Пре самог спровођења анализе извршена је припрема података где су категоријске променљиве претворене у дихотомне а потом оне категоријске променљиве које су имале мали број фреквенција искључене из даљег разматрања. Целокупан скуп података је подељен на тренинг и на тест податке где је за тренирање модела коришћен тренинг сет података. Добијени модел бинарне логистичке регресије показао је утицај различитих фактора на то да ли одређена резервација неће бити отказана. Највећи позитиван утицај на ову појаву имају број специјалних захтева и тип резервација које су направљене офлајн. Са друге стране, време које протекне између дана резервисања и дана доласка на резервацију као и просечна цена собе по ноћењу имају јак негативан утицај односно њиховим повећањем смањује се вероватноћа да резервација неће бити отказана. Модел је валидиран уз помоћ тест сета података и добијене су високе вредности када су у питању перформансе модела. Прецизност модела је била скоро 90%, одзив модела 82,16% док је укупна тачност модела износила 79,92% што значи да модел има високу моћ предвиђања да ли одређена резервација неће бити отказана. Добијени резултати представљају добар инпут менаџменту хотела у смислу идентификације главних фактора који утичу на отказивање резервација и могу им помоћи у њиховом управљању хотелима, праћење резервација и планирање капацитета. Такође, модел може бити веома користан за предвиђање, где је за сваку нову резервацију могуће предвидети колика је вероватноћа да ће она бити отказана.

Будући правци истраживања могу обухватити примену различитих метода машинског учења над овим подацима и поређење добијених резултата како би се пронашао још ефикаснији модел за предвиђање. Поред тога, биће размотрено и додавање нових информација у скуп података које на одређени начин могу допринети успешности модела и додатно помоћи хотелима да побољшају своје пословање.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Zarezadeh, Z. Z., Rastegar, R., & Xiang, Z. (2022). Big data analytics and hotel guest experience: a critical analysis of the literature. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*. https://doi.org/10.1108/ijchm-10-2021-1293

[2] Mariani, M.M., & Baggio, R. (2021). Big data and analytics in hospitality and tourism: a systematic literature review. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*.

[3] Zhang, J., & Enemark, A. E. (2016). Factors Influencing Business Performance in Hotels and Restaurants. *Vtechworks.lib.vt.edu*. https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/85563

[4] Yoon, Y., Gursoy, D., & Chen, J. S. (2001). Validating a tourism development theory with structural equation modeling. *Tourism Management*, 22(4), 363-372.

[5] Baniya, R., & Thapa, P. (2017). Hotel Attributes Influencing International Tourists' Satisfaction and Loyalty. *Journal of Tourism and Hospitality Education*, 7, 44-61.

[6] Ban, H. J., Choi, H., Choi, E. K., Lee, S., & Kim, H. S. (2019). Investigating key attributes in experience and satisfaction of hotel customer using online review data. *Sustainability*, 11(23), 6570.

[7] Zhao, M., Li, L., & Xu, Z. (2021). Study on hotel selection method based on integrating online ratings and reviews from multi-websites. *Information Sciences*, 572, 460-481.

[8] Sánchez-Medina, A. J., & Eleazar, C. (2020). Using machine learning and big data for efficient forecasting of hotel booking cancellations. *International Journal of Hospitality Management*, 89, 102546.

[9] Chen, S., Ngai, E. W. T., Ku, Y., Xu, Z., Gou, X., & Zhang, C. (2023). Prediction of hotel booking cancellations: Integration of machine learning and probability model based on interpretable feature interaction. *Decision Support Systems*, 113959. https://doi.org/10.1016/j.dss.2023.113959

[10] Ahsan81. (2021). Hotel Reservations Classification Dataset. Kaggle. Доступно на: https://www.kaggle.com/datasets/ahsan81/hotel-reservations-classification-dataset. Приступљено 28. маја 2023.

[11] Agresti, A. (2013). *Categorical Data Analysis* (3rd Edition). Wiley.

[12] Stevens, J. P. (2009). Applied multivariate statistics for the social sciences. Routledge.

[13] Joseph, V. R. (2022). Optimal ratio for data splitting. *Statistical Analysis and Data Mining*, *15*(4), 531–538. https://doi.org/10.1002/sam.11583

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# АНАЛИЗА ДУГОРОЧНОГ УТИЦАЈА ПАНДЕМИЈЕ *COVID-19* НА ОБРАСЦЕ ПОТРАЖЊЕ ЗА ПИВОМ У СРБИЈИ

# ANALYSIS OF LONG-TERM IMPACT OF THE COVID-19 PANDEMIC ON BEER DEMAND PATTERNS IN SERBIA

ОГЊЕН АНЂЕЛИЋ[1], ЗОРАН РАКИЋЕВИЋ [2], НЕМАЊА МИЛЕНКОВИЋ [3], АЛЕКСАНДАР РАКИЋЕВИЋ[4],

[1] Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, ognjen.andjelic@fon.bg.ac.rs
[2] Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, zoran.rakicevic@fon.bg.ac.rs
[3] Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, nemanja.milenkovic@fon.bg.ac.rs
[4] Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, aleksandar.rakicevic@fon.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Пандемија COVID-19 имала је значајан глобални утицај на здравље и економију, погађајући различите индустрије широм света. Једна од најтеже погођених индустрија је индустрија хране и пића у оквиру које је и пиварска индустрија. Поставља се питање, да ли је пандемија утицала на потражњу за пивом у Србији и да ли је проузроковала дугорочне промене у обрасцима тражње. Применом структурне анализе временских серија и линеарне регресије, овај рад фокусира се на истраживање образаца потражње за пивом анализирајући четири категорије производа према типу амбалаже: алуминијумске лименке, неповратну стаклену амбалажу, пластичну PET амбалажу и класичну стаклену амбалажу. Резултати сугеришу да је пандемија COVID-19 имала дугорочан утицај на обрасце конзумације пива, што је довело до повећања конзумације. Међутим, неопходна је даља анализа како би се испитало да ли је ово повећање на уштрб смањења конзумације других алкохолних пића. Ово истраживање разматра дугорочне импликације пандемије на тржиште пива и наглашава потребу за свеобухватном анализом како би се разумео њен шири утицај на индустрију алкохолних пића.*

***Кључне речи:*** *Индустрија пива, структурна анализа, временске серије, линеарна регресија, COVID-19*

***Abstract:*** *The COVID-19 pandemic has had a profound impact on global health and economies, affecting various industries worldwide. One of the most affected was the food and beverages sector within which is the brewing industry. A question arises of whether the pandemic has influenced beer consumption in Serbia and brought about long-term changes in consumption patterns. This study utilizes structural breakdown analysis and linear regression modeling to investigate beer demand across four packaging types: aluminium cans, one-way glass bottles, plastic packaging, and returnable glass bottles. The findings suggest that the COVID-19 pandemic has had a long-term effect on beer consumption patterns, leading to an increase in consumption. However, further analysis is necessary to examine whether this increase is at the expense of other alcoholic beverages. This research sheds light on the long-term implications of the pandemic on the beer market and highlights the need for comprehensive analysis to understand its broader impact on the alcoholic beverage industry.*

***Keywords:*** *Brewing industry, structural breakdown analysis, time series, linear regression, COVID-19*

---

## 1. УВОД

Светска здравствена организација (енгл. *World Health Organization*) је 11. марта 2020. године прогласила COVID-19 пандемију [14]. Пандемија је имала значајан глобални утицај, како на физичко и психичко здравље становништва, тако и на светску економију као главни узрочник значајних поремећаја [11].

Логистички проблеми и изненадне промене у понуди и тражњи у оквиру ланаца снабдевања који су се појавили током пандемије захвативши готово све индустрије допринели су огромним променама начина рада појединих предузећа мењајући њихове пословне моделе како би се избегла привремена или трајна затварања [13, 7]. Година 2020. била је испуњена изазовима за све индустрије, па тако и за индустрију хране и пића, чија је индустрија пива саставни део [11].

Анализа кретања унутар индустрије пива је интересантна, актуелна и значајна тема управо због тога што су се услед појаве *COVID-19* пандемије значајно променили обрасци конзумације алкохола као последица специфичног политичког, друштвеног, економског или културног контекста сваке земље [12]. На конзумацију алкохола утицале су и мере државних власти које су покушале да изврше директан утицај на ову категорију кроз различита ограничења попут забране продаје алкохолних пића или ограничавање периода у току дана у којем је то могуће [2]. Са друге стране, неке државе, укључујући ту и Србију, нису уводиле ограничења тог типа, па није немогуће да је конзумација алкохола повећана узимајући у обзир повећане нивое стреса током пандемије.

Такође, мере увођење ради смањења преноса вируса уопште често су имале индиректан утицај на ову категорију, првенствено кроз затварање или ограничавање рада кафића, барова и ресторана [11], што представља један од главних дистрибуционих канала категорије.

Циљ овог рада јесте дати одговор на питање да ли постоји промена у обрасцу конзумације пива током пандемије *COVID-19* и да ли је та промена пренета и у период након пандемије, дугорочно мењајући посматране обрасце конзумације овог алкохолног пића.

Рад је организован на следећи начин: Након увода, следећа секција даје кратак преглед претходног истраживања везаног за утврђивање промена у обрасцима конзумације алкохола током пандемије. У трећој секцији приказана је методологија на основу које су у четвртој секцији приказани резултати. У оквиру пете секције биће продискутовани добијени резултати и дате закључне опаске, а на послетку је дат списак коришћене литературе.

## 2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Током трајања карантина уведених као једна од мера заштите од ширења пандемије у многим земљама, међу многим здравственим радницима је постојала забринутост у вези са предвиђеним порастом конзумације алкохола [12]. Међутим, спроведене научно-истраживачке студије имале су различите закључке, при чему су неке потрошачке групе показале повећање, а друге смањење куповине и конзумације алкохола.

Резултати студије спроведене у Грчкој у вези са променама навика у конзумирању алкохола током 36 дана карантина уведеног услед пандемије показали су да је већа вероватноћа да ће испитаници конзумирати алкохол код куће, сами или са партнером, него пре COVID-19 пандемије. Са друге стране, мање је вероватно да ће пити са пријатељима [10]. У Великој Британији, значајан проценат појединаца је изјавио да чешће пије у изолацији и да попије више пића приликом конзумације алкохола [9].

У истраживању у оквиру студије приказане у раду [5] дошло се до закључка да млади мушкарци који су чешће пили на друштвеним догађајима ван куће пријављују смањену конзумацију алкохола током пандемије, док испитаници са високим нивоом стреса и они који су куповали залихе алкохола када су најављене рестрикције пријављују повећање конзумације алкохола. У вези са тим, у оквиру рада [12] закључује се да постоји повећана продаја већих паковања, што због тога што су потрошачи ређе куповали, што због избегавања чекања у реду чиме се повећава вероватноћа добијања вируса. Истраживање конзумације алкохола током пандемије са фокусом на Европу, где је анализирана конзумација у 21 европској држави, укључујући и Словенију, Грчку и Мађарску, доводи до закључка да постоји статистички значајно смањење конзумације алкохола у свим државама изузев Ирске и Уједињеног Краљевства [8]. У оквиру истраживања у раду [9] наводи се да су погоршање финансијске ситуације и физичког здравља били повезани са повећаном јединичном конзумацијом алкохола и погоршањем психичког благостања, што је довело до повећања опијања. Додатно, истраживање [12] је показало да је куповина и конзумација премијум пића значајно порасла током пандемије, посебно у категорији жестоких пића, јер потрошачи код куће покушавају да рекреирају искуство које су имали у бару и ресторану. Ово је проузроковало куповину веће количине различитих алкохолних пића, укључујући ту и већ припремљене алкохолне коктел напитке. Они такође постављају питање како ће се ови трендови развијати и да ли ће се наставити након *COVID-19* пандемије.

Веома је тешко пронаћи литературу која специфично обрађује кретања унутар индустрије пива с обзиром на актуелност ситуације и на посматрану нишу. Због тога, посебно је интересантно истраживање [11] које обрађује индустрију пива у Сједињеним Америчким Државама, и то специфично посматрајући различите типове паковања. Долази се до закључка да произвођачи услед пандемије нагло прелазе са коришћења доминантно стаклених амбалажа на алуминијумске конзерве, па је 2020. тај однос 80% алуминијум а 20% стакло, док је 2015. године било обрнуто.

У контексту пандемије *COVID-19*, у оквиру [4] конзумација алкохола је разматрана као начин опуштања за многе људе и са тим у вези постоје претпоставке да су могуће средњорочне и дугорочне промене у понашању и односу корисника према алкохолу.

## 3. МЕТОДОЛОГИЈА

Како би утврдили да ли постоји промена у обрасцу конзумације пива током и након пандемије *COVID-19*, анализиране су четири временске серије које се односе на потражњу за пивом у различитим облицима паковања: класична стаклена амбалажа, неповратна стаклена амбалажа, алуминијумска лименка и пластична амбалажа. Ове четири различите врсте паковања карактеришу и различите амбијенте у којима се конзумира пиво, при чему се пластична, алуминијумска и класична стаклена амбалажа најчешће користе код куће, док се неповратна стаклена амбалажа најчешће користи у ресторанима и кафићима. Подаци о потражњи за пивом у различитим паковањима добијени су са *POS* (енгл. *Point-of-Sale*) терминала и обухватају недељне опсервације у периоду од почетка 2019. до краја 2022. године.

Први корак приликом анализе јесте структурна анализа временских серија, која укључује откривање и идентификацију значајних промена у подацима током времена кроз идентификацију преломних тачака [3]. Испитивањем ових преломних тачака откривају се промене у подацима и трендови или догађаји који утичу на временску серију [6].

Постоји неколико статистичких тестова који се користе за структурну анализу временске серије, а један од најчешће коришћених је *Bai-Perron* тест [1] који је коришћен и у овом раду како би се утврдиле преломне тачке за претходно поменуте временске серије. Након идентификације преломних тачака, извршена је линеарна регресија сваке од секција временске серије дефинисаних истим, како би се утврдили општи обрасци кретања потражње, а са циљем да се упореде кретања и размотри да ли је и како пандемија COVID-19 утицала на потражњу и да ли постоји промена у обрасцу тражње у односу на период пре пандемије.

## 4. РЕЗУЛТАТИ

Применом *Bai-Perron* теста над временском серијом која прати тражњу за алуминијумском амбалажом идентификоване су две преломне тачке у недељама 68 и 99. Ове две недеље представљају 3. недељу априла 2020. године и 3. недељу новембра исте године. За секције временске серије од 1. до 68., 69. до 99. и 100. до 208. недеље применом линеарне регресије добијени су линеарни модели приказани у Табели 1.

**Табела 1:** Модели линеарне регресије секција за амбалажу алуминијумска конзерва

| Секција | Коефицијенти | Вредност | Стандардна грешка | *t* вредност | *p* вредност |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | *n* | 14.163,17 | 901,49 | 15,711 | 0,001 |
| | *k* | -4,207 | 23,047 | -0,183 | |
| 2 | *n* | 26.783.5 | 2.652,2 | 10,099 | 0,001 |
| | *k* | -399,2 | 144,7 | -2,759 | 0,01 |
| 3 | *n* | 16.090,91 | 801,558 | 20,075 | 0,001 |
| | *k* | 2,596 | 12,536 | 0,207 | |

Кретање потражње за пивом у алуминијумској конзерви, као и претходно приказани модели, приказани су графички на Слици 1.

**Слика 1:** Кретање потражње за пивом у алуминијумској конзерви и модели линеарне регресије

Применом *Bai-Perron* теста над временском серијом која прати тражњу за неповратном стакленом амбалажом идентификоване су две преломне тачке у недељама 37 и 161. Ове две недеље представљају другу недељу септембра 2019. године и прву недељу фебруара 2022. године. За секције од 1. до 37. недеље, од 38. до 161. недеље и од 162. до 208. недеље применом линеарне регресије добијени су линеарни модели приказани у Табели 2.

**Табела 2:** Модели линеарне регресије секција за неповратну стаклену амбалажу

| Секција | Коефицијенти | Вредност | Стандардна грешка | *t* вредност | *p* вредност |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | *n* | 328,01 | 116,341 | 2,819 | 0,01 |
| | *k* | 15,971 | 5,483 | 2,913 | 0,01 |
| 2 | *n* | 367,2672 | 47,2399 | 7,775 | 0,001 |
| | *k* | 0,2003 | 0,6559 | 0,305 | |
| 3 | *n* | 1.078,169 | 129,718 | 8,312 | 0,001 |
| | *k* | -11,906 | 4,609 | -2,583 | 0,05 |

Кретање потражње за пивом у неповратној стакленој амбалажи, као и претходно приказани модели, приказани су графички на Слици 2.

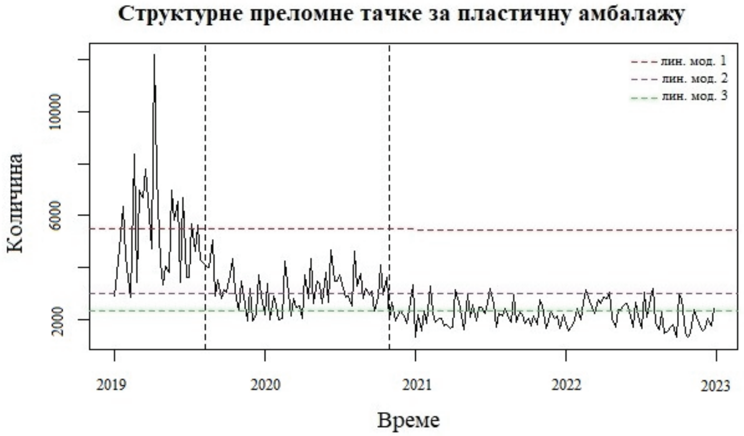
**Слика 2:** Кретње потражње за пивом у неповратној стакленој амбалажи и модели линеарне регресије

Применом *Bai-Perron* теста над временском серијом која прати тражњу за пластичном амбалажом идентификоване су две преломне тачке у недељама 35 и 95. Ове две недеље представљају 4. недељу августа 2019. године и 4. недељу октобра 2020. године. За секције од 1. до 35. недеље, од 36. до 95. недеље и од 96. до 208. недеље временске серије применом линеарне регресије добијени су линеарни модели приказани у Табели 3.

**Табела 3:** Модели линеарне регресије секција за пластичну амбалажу

| Секција | Коефицијенти | Вредност | Стандардна грешка | *t* вредност | *p* вредност |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | *n* | 5.506,36 | 699,19 | 7,875 | 0,001 |
| | *k* | -15,95 | 34,85 | -0,458 | |
| 2 | *n* | 2.993,593 | 192,445 | 15,556 | 0,001 |
| | *k* | 3 | 5,487 | 0,547 | |
| 3 | *n* | 2.315,692 | 93,631 | 24,732 | 0,001 |
| | *k* | -1,947 | 1,413 | -1,378 | |

Кретање потражње за пивом у пластичној амбалажи, као и претходно приказани модели, приказани су графички на Слици 3.



**Слика 3:** Кретање потражње за пивом у пластичној амбалажи и модели линеарне регресије

Применом *Bai-Perron* теста над временском серијом која прати тражњу за класичном стакленом амбалажом идентификоване су две преломне тачке у недељама 68 и 99. Ово су исте две недеље које су идентификоване и за алуминијумску амбалажу, то јест, 3. недеља априла 2020. године и 3. недеља новембра исте године. За дефинисане секције временске серије применом линеарне регресије добијени су линеарни модели приказани у Табели 4.

**Табела 4:** Модели линеарне регресије за секције за класичну стаклену амбалажу

| Секција | Коефицијенти | Вредност | Стандардна грешка | *t* вредност | *p* вредност |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | *n* | 3.325,644 | 192,082 | 17,314 | 0,001 |
|  | *k* | -9,178 | 4,911 | -1,869 | 0,05 |
| 2 | *n* | 13.042,77 | 1.459,7 | 8,935 | 0,001 |
|  | *k* | -300,43 | 79,63 | -3,773 | 0,001 |
| 3 | *n* | 4.781,141 | 361,82 | 13,214 | 0,001 |
|  | *k* | 10,043 | 5,659 | 1,775 | 0,05 |

Кретање потражње за пивом у стакленој амбалажи, као и претходно приказани модели, приказани су графички на Слици 4.

**Слика 4:** Кретање тражње за пивом у класичној стакленој амбалажи и модели линеарне регресије

## 5. ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

Када је у питању потражња за пивом у алуминијумској и стакленој амбалажи, детектоване преломне тачке у временској серији савршено се преклапају са почетком пандемије и првим попуштањем мера за сузбијање пандемије у Србији. Кретање потражње за ова два типа амбалаже такође прати исти образац, где након почетка пандемије и током пандемије долази до наглог скока у тражњи, да би се та тражња у периоду након пандемије стабилизовала али на већем нивоу него пре почетка исте. Оваква кретања сугеришу да је пандемија имала дугорочног утицаја на повећање конзумације пива пакованих у поменута два типа амбалаже.

Тражња за пивом у пластичној амбалажи је једина у којој у свакој од секција долази до пада нивоа тражње у односу на претходну. Такође, чини се да преломне тачке у временској серији нису у вези са пандемијом, због чега сматрамо да кретања потражње за овим типом амбалаже пре имају везе са дугорочним економским трендовима него са појавом пандемије.

На послетку, када је у питању неповратна стаклена амбалажа, чини се да прва преломна тачка у оквиру временске серије није уско повезана са почетком пандемије. Међутим, друга преломна тачка детектована је тачно око времена када су у Републици Србији укинуте ковид пропуснице неопходне за боравак у затвореном простору, што је допринело значајном повећању нивоа посматране временске серије. Ово има смисла, поготово узевши у обзир чињеницу да се пиво из оваквог типа амбалаже најчешће и конзумира у кафићима и ресторанима којима је до тог момента већини становништва приступ био ограничен.

За три од четири временске серије идентификоване су преломне тачке у периодима који се директно поклапају са кључним тренуцима у вези са пандемијом, након које долази до повећање тражње за тим категоријама. С обзиром на то, могло би се тврдити да је пандемија вируса *COVID-19* имала дугорочног утицаја на повећање конзумације пива у Републици Србији. Идентификација преломних тачака може допринети предвиђању, сигнализирајући наглу промену у оквиру временске серије и потребу за ревидирањем устаљених метода и техника предвиђања у циљу смањења грешака које приликом предвиђања настају, док се применом линеарне регресије те промене могу квантификовати, што је и урађено у овом раду. Једно занимљиво питање је и да ли ово повећање долази на уштрб смањења конзумације других алкохолних пића или не, што може бити интересантна тема за даље истраживање.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Bai, J., & Perron, P. (1998). Estimating and testing linear models with multiple structural changes. *Econometrica*, 47-78.

[2] Baker, J. S., Supriya, R., Tao, D., & Gao, Y. (2021). Alcohol Consumption Pre and Post COVID-19. Implications for Health, Underlying Pathologies, Risks and Its Management. *Journal of Risk and Financial Management*, *14*(11), 533.

[3] Basseville, M., & Nikiforov, I. V. (1993). *Detection of abrupt changes: theory and application* (Vol. 104). Englewood Cliffs: prentice Hall.

[4] Calina, D., Hartung, T., Mardare, I., Mitroi, M., Poulas, K., Tsatsakis, A., ... & Docea, A. O. (2021). COVID-19 pandemic and alcohol consumption: Impacts and interconnections. *Toxicology reports*, *8*, 529-535.

[5] Callinan, S., Mojica-Perez, Y., Wright, C. J., Livingston, M., Kuntsche, S., Laslett, A. M., ... & Kuntsche, E. (2021). Purchasing, consumption, demographic and socioeconomic variables associated with shifts in alcohol consumption during the COVID-19 pandemic. *Drug and Alcohol Review*, *40*(2), 183-191.

[6] Durbin, J., & Koopman, S. J. (2012). *Time series analysis by state space methods*. Oxford University Press.

[7] Ivanov, D., & Das, A. (2020). Coronavirus (COVID-19 / SARS-CoV-2) and supply chain resilience: a research note. *International Journal of Integrated Supply Management*, *13*(1), 90–102.

[8] Kilian, C., Rehm, J., Allebeck, P., Braddick, F., Gual, A., Barták, M., ... & European Study Group on Alcohol Use and COVID-19. (2021). Alcohol consumption during the COVID-19 pandemic in Europe: a large-scale cross-sectional study in 21 countries. *Addiction*, *116*(12), 3369-3380.

[9] Oldham, M., Garnett, C., Brown, J., Kale, D., Shahab, L., & Herbec, A. (2021). Characterising the patterns of and factors associated with increased alcohol consumption since COVID-19 in a UK sample. *Drug and alcohol review*, *40*(6), 890-899.

[10] Panagiotidis, P., Rantis, K., Holeva, V., Parlapani, E., & Diakogiannis, I. (2020). Changes in alcohol use habits in the general population, during the COVID-19 lockdown in Greece. *Alcohol and alcoholism*, *55*(6), 702-704.

[11] Pitts, E. R., & Witrick, K. (2021). Brewery packaging in a Post-COVID economy within the United States. *Beverages*, *7*(1), 14.

[12] Plata, A., Motoki, K., Spence, C., & Velasco, C. (2022). Trends in alcohol consumption in relation to the COVID-19 pandemic: A cross-country analysis. *International journal of gastronomy and food science*, *27*, 100397.

[13] Sharma, M., Luthra, S., Joshi, S., & Kumar, A. (2022). Developing a framework for enhancing survivability of sustainable supply chains during and post-COVID-19 pandemic. *International Journal of Logistics Research and Applications*, *25*(4-5), 433-453.

[14] World Health Organization (2020). *WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 11 March 2020*. Доступно на: https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020

# ПОУЗДАНОСТ И УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ

# RELIABILITY AND RISK MANAGEMENT

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ЛОКАЛНА САМОУПРАВА И УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ У ОБЛАСТИ ВАНРЕДНИХ СИТУАЦИЈА

# LOCAL SELF-GOVERNMENT AND RISK MANAGEMENT IN THE FIELD OF EMERGENCIES

БРАНКО БАБИЋ[1]

[1] Висока техничка школа струковних студија у Новом Саду, Школска 1, babic@vtsns.edu.rs

***Резиме:*** *Управљање ризиком је скуп мера и активности које субјекти спроводе у циљу имплементације политике смањења ризика од катастрофа као и административно оперативних и организационих вештина и капацитета за његово реаговање. Смањење ризика је политика која је успостављена и води ка спречавању нових и смањењу постојећих ризика кроз интегрисани систем у циљу јачања отпорности и припремљености заједнице за одговор и ублажавање последица од насталих катастрофа. У оквиру законске регулативе развијена јединствена методологија процене ризика, са прецизно дефинисаним критеријумима и начинима израчунавања нивоа ризика, што представља полазну основу, као један од најважанијих докумената, у процесу управљања ризиком. Централно место у управљању ризиком припада јединицама локалне самоуправе које, превентивним деловањем и интегрисањем свих функција безбедности обезбеђују одговоре на све врсте ванредних ситуација а тиме олакшавају свим грађанима безбеднији живот.*

***Кључне речи:*** *Управљање ризиком, Субјекти система, Локална самоурава, Превентива.*

***Summary:*** *Risk management is a set of measures and activities carried out in order to implement disaster risk reduction policies, as well as administrative, operational, and organizational skills and capacities for its response. Risk reduction is a policy that has already been established and that leads to the prevention of new risks, as well as to the reduction of existing risks, through an integrated system, thus strengthening the community's resilience and preparedness to respond and mitigate the consequences of emerging disasters. A unique risk assessment methodology has been developed within the legal framework, with precisely defined criteria and ways of calculating the level of risk, which represents one of the most important documents and the starting point in the risk management process. The central place in risk management belongs to the local self-government units, which, through preventive actions and integration of all security functions, respond to all types of emergency situations and thus facilitate a safer life for all citizens.*

***Keywords:*** *Risk management, Subjects of the system, Local self-governance, Prevention.*

## 1. УВОД

Значај превентивне функције је велики посебно у јединицама локалне самоуправе, као основном субјекту система смањења ризика од катастрофа. Већи број несрећа може се избећи, могу се благовремено спречити последице благовременим реаговањем (или знатно умањити по становништво уколико превентивни механизми адекватно делују). Сагласно томе, Закон о смањењу ризика од катастрофа и управљању ванредним ситуацијама (у даљем тексту: Закон) [1] дефинише, у члану 2., да "превенција обухвата скуп мера и активности за ублажавање постојећих ризика као и смањење ризика од настанка нових последица катастрофе". У пракси најчешће није обезбеђено спровођење тих мера.

Законска концепција система смањења ризика од катастрофа полази од тога да је превентивна функција у надлежности и одговорности субјеката система [1]: (1) органи државне управе, органи аутономне покрајине, јединице локалне самоуправе, (2) јавне службе, (3) привредна друштва и друга правна лица и предузетници, (4) организације цивилног друштва, (5) образовне установе и научно истраживачке организације, (6) јавне агенције и други који учествују у утврђивању мера и активности од значаја за смањење ризика и управлљање ванредним ситуацијама (првенствено грађани). Обавеза предузимања превентивних мера, у мањој мери спада у круг дужности грађана и њихових група и асоцијација, а у знатно већој мери у круг дужности привредних субјеката и јавних служби (установа и предузећа), као и органа државне управе, покрајинских и локалних органа.
Поред предузимања превентивних мера из сопствене надлежности, органи државне управе, покрајински и органи локалне самоуправе, имају и одговорност да преко контролне и надзорне функције "принуде" све друге (грађане, њихове групе и асоцијације, привредне субјекте и јавне службе) на поштовање закона и других прописа који утврђују обавезе предузимања превентивних мера. То значи да одговорност за толерисање (или неоткривање) пропуста у предузимању превентивних мера, имају органи државне управе, АП и ЈЛС, надлежни за послове инспекцијског надзора.

У Р.Србији први пут је примењен свеобухватан приступ управљања ризицима кроз Закон о ванредним ситуацијама (2009. године), настављен преко Закона о смањењу ризика од катастрофа [1] и подзаконским актима. Упутство о Методологији израде и садржају процене ризика од катастрофа и плана заштите и спасавања [2] прилагођено је нормативно-правном прописима, специфичностима свих врста ризика који нас окружују и служи као смерница и оквир за деловања локалне самоуправе у процесу управљања ризиком.

## 2. УЛОГА ЈЕДИНИЦЕ ЛОКАЛНЕ САМОУПРАВЕ

Ризици су константно присутни у свакодневном обављању пословних активности. Често се бавимо ризицима и управљамо њима а да тога нисмо ни свесни. Када размишљамо како остварити неки од утврђених циљева, превазићи или избећи проблеме који могу представљати претњу, ми у ствари већ управљамо ризицима. Управљање ризицима је процес који се одвија континуирано, захтева ангажовање што већег број учесника и примену прописане методологије. Циљ управљања ризицима је реализовати планиране циљеве, ризике избећи или их смањити на најмању могућу меру. Највећи број ризика се не може у потпуности уклонити, зато је потребно процесу управљања ризицима приступити професионално, систематски и са максималном одговорношћу свих учесника.

Управљање ризицима у субјектима система смањења ризика од катастрофа у Р.Србији има за циљ смањење ризика и последица по становништво и материјална /културна добра. Ризици су будући догађаји који представљају претњу остварењу циљева, програма или пружања квалитетних услуга грађанима. Често због нерешених питања и мањкавости у раду, ризици остају секундарно питање све док се под утицајем интерних или екстерних фактора не активирају потенцијални ризици и на видело изађу слабости у раду. Благовремено уочити ризике и предузети одговарајуће мере значи избећи и све негативне финансијске учинке који ће се јавити током санирања последица ризика. Руководство које не управља ризицима плаћа цену њихових последица, а крајњу цену плаћају и грађани, као порески обвезници.

Основна активност сваке локалне самоуправе у управљању ризицима у ванредним ситуацијама заснива се на томе да се предузму кораци који у највећој могућој мери пружају и обезбеђују безбедност становништва, материјалних и културних добара и животне средине у њој. Закон, између осталих, дефинише органе јединица локалне самоуправе као посебне субјекте система смањења ризика од катастрофа. Јединице локалне самоуправе прате опасности, обавештавају становништво о опасностима и предузимају друге превентивне мере за смањење ризика од елементарних непогода и других несрећа.

Јасно је прописана обавеза спровођења превентивних мера, у које се убрајају и активности израде Процене ризика од катастрофа, Плана заштите и спасавања, Плана смањења ризика од катастрофа и Екстерног плана заштите од великог удеса. Надлежни орган јединице локалне самоуправе израђује наведена документа у сарадњи са надлежном службом (Сектор за ванредне ситуације МУП Р.Србије), штабом за ванредне ситуације, другим стручним органима јединице локалне самоуправе, овлашћеним и оспособљеним правним лицима која имају и посебно место у систему јер им је поверено вршење одређених послова који су од посебног интереса за Републику Србију.

Јединица локалне самоуправе у оквиру својих надлежности, у области смањења ризика од катастрофа и управљања ванредним ситуацијама:

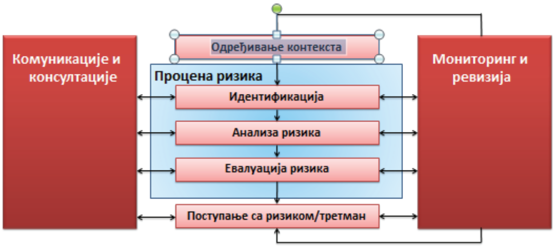
1) доноси акт о организацији и функционисању цивилне заштите на територији јединице локалне самоуправе, на предлог надлежног штаба и обезбеђује њено спровођење;
2) израђује и доноси процену ризика, локални план смањења ризика од катастрофа, план заштите и спасавања и екстерни план заштите од великог удеса уколико се на њеној територији налази СЕВЕСО комплекс вишег реда;
3) образује штаб за ванредне ситуације;
4) одређује субјекте од посебног значаја за заштиту и спасавање јединице локалне самоуправе на предлог надлежног штаба;
5) планира и обезбеђује буџетска средства намењена за смањење ризика од катастрофа и управљање ванредним ситуацијама;
6) образује јединице цивилне заштите;
7) успоставља ситуациони центар у складу са актом о организацији и функционисању цивилне заштите, а у зависности од техничких и материјалних могућности;
8) израђује студију покривености система за јавно узбуњивање за своју територију (акустичку студију) и стара се о одржавању, набавци и постављању акустичких извора (сирена) и остале опреме у оквиру јединственог система за јавно узбуњивање у Републици Србији;
9) сарађује са суседним јединицама локалне самоуправе у спровођењу мера и активности од значаја за смањење ризика од катастрофа и управљање ванредним ситуацијама;
10) предузима хитне и превентивне мере у циљу смањења ризика од катастрофа;
11) усваја годишњи план рада и годишњи извештај о раду штаба за ванредне ситуације;
12) обављају и друге послове утврђене законом.

## 3. ДОКУМЕНТА ЈЕДИНИЦЕ ЛОКАЛНЕ САМОУПРАВЕ ЗА УПРАВЉАЊЕ РИЗИКОМ

У процесу управљања ризиком, као основна превентивна мера, јединице локалне самоуправе израђују: 1. Процену ризика од катастрофа, 2. План заштите и спасавања, 3. План смањења ризика од катастрофа, 4. Екстерни план заштите од великог удеса.

***Проценот ризика*** од катастрофа идентификују се извори могућег угрожавања, сагледавају се могуће последице, потребе и могућности спровођења мера заштите и спасавања. Проценом се идентификују ризици, фактори ризика, степен угрожености и последице које могу наступити по штићене вредности, предлаже третман ризика. Процес процене ризика у оквиру управљања ризицима приказан је на следећој слици1.

Кроз Комуникације и консултације врши се упознавање са животом општине и изазовима са којима живи, консултација са стручним тимом око избора опасности, прикупљање и анализа података који постоје о штетама у прошлости.



**Слика 1:** Процес процене ризика- 31000: 2009 Risk Management—Principles and Guidelines. Geneva: International Organization for Standardization

Процена ризика, као друга фаза процеса, обухавата : 1. Идентификацију ризика где се врши препознавања и описивања ризика, стручни тим разматра опасности, дефинише која врста ризика постоји, где се појављује и које су последице; 2. Анализу ризика, тј- процес разумевања природе ризика и одређивање нивоа ризика, врши се како би се одредиле вероватноћа и последице по штићене вредности; 3. Евалуацију ризика где се врши упоређивање резултата анализе ризика са критеријумима ризика да би се утврдило да ли се ризик или његова величина може толерисати,

Поступање са ризиком/третман ризика је процес који се спроводи да се модификује-редукује ризик и подразумева предузимање мера за умањење или уклањање ризика-*превентивне мере и мере реаговања*

Мониторинг и ревизија обухвата сталну проверу, надзор; критично посматрање како би се идентификовале очекиване промене параметара на којима се заснива Процена.

У наредној табели дат је преглед урађених Процена и Планова у последњих осам година, са напоменом са се Методологија за израду процене ризика од катастрофа и плана заштите и спасавања мењала 2017. и 2019. године (прва прописана 2012. године) и да су субјекти система смањења ризика од катастрофа морали радити нова документа по њиховом доношењу.

**Табела 1:** Преглед урађених Процена и планова

| ГОД. | **ПРОЦЕНА РИЗИКА ОД КАТАСТРОФА** | | **ПЛАН ЗАШТИТЕ И СПАСАВАЊА** | |
|---|---|---|---|---|
| | ЈЛС | ПД | ЈЛС | ПД |
| 2015. | 1 | - | - | - |
| 2016. | 4 | 10 | 2 | |
| 2017. | 11 | 16 | 8 | 6 |
| 2018. | 46 | 121 | 7 | 69 |
| 2019. | 51 | 328 | 37 | 201 |
| 2020. | 25 | 757 | 29 | 618 |
| 2021. | 12 | 742 | 17 | 689 |
| **укупно** | 150 | 1974 | 100 | 1583 |

***Планови заштите и спасавања су*** основни плански документ на основу кога се локалне самоуправе организују, припремају и учествују у извршавању мера и задатака заштите и спасавања угроженог становништва, материјалних и културних добара и животне средине. План се ради текстуално и кроз табеларне прилоге. Циљ израде планова је утврђивање задатака свих субјеката заштите и спасавања на територији локалне самоуправе, планско и организовано ангажовање капацитета, усклађивање активности у спровођењу мера и задатака заштите и спасавања. Планом смањења ризика од катастрофа утврђују се конкретне превентивне, организационе, техничке, финансијске, нормативне, надзорне, едукативне и друге мере и активности које су локалне самоуправе и други субјекти, на основу процене појединих ризика, дужни да предузму у будућем периоду у циљу смањења ризика од катастрофа и ублажавања њихових последица. План смањења ризика од катастрофа се израђује и доноси за територију Републике Србије (Национални план смањења ризика од катастрофа), аутономне покрајине (Покрајински план смањења ризика од катастрофа) и јединице локалне самоуправе (локални план смањења ризика од катастрофа). Планови заштите и спасавања се израђују у складу са Законом[1], Уредбом о садржају и начину израде и обавезама субјеката у вези са израдом процене ризика од катастрофа и планова заштите и спасавања [3], Методологијом [2] и Одлуком о одређивању субјеката од посебног значаја за заштиту и спасавање у Републикци Србији [4]. Методологија је дефинисала садржај Плана за јединице локалне самоуправе (град/општина) и за градске општине града Београда. План јединице локалне самоуправе се израђује за територију јединице локалне самоуправе и садржи: рано упозоравање и приправност (спремност); мобилизација и активирање; заштита и спасавање по врстама опасности; екстерни план заштите од великог удеса (ако на територији локалне самоуправе има СЕВЕСО комплекса вишег реда); мере цивилне заштите (узбуњивање, евакуација, склањање, збрињавање, прва и медицинска помоћ и асанација терена) и употреба снага и субјеката заштите и спасавања.

***План смањења ризика од катастрофа*** утврђује превентивне, организационе, техничке, финансијске, нормативне, надзорне, едукативне и друге мере и активности (структурне и неструктурне мере и активности) које су надлежни јединице локалне самоуправе, на основу процене појединих ризика, дужни да предузму у будућем периоду у циљу третирања и смањења ризика од катастрофа и ублажавања његових последица. План обавезно садржи увод у план; мере и активности које је потребно предузети ради смањења ризика од катастрофа; субјекте одговорне за спровођење мера и активности, као и за праћење спровођења и извештавање о спровођењу; рокове за завршетак предвиђених мера и активности; потребна средства за спровођење мера и активности. План се израђује на основу Уредбе о садржају и начину израде плана смањења ризика од катастрофа [5].

***Екстерни план заштите од великог удеса*** [1] израђује надлежни орган јединице локалне самоуправе на чијој територији се налази СЕВЕСО комплекс вишег реда. План се доноси са мерама које треба предузети изван комплекса, у року који не може бити дужи од две године од тренутка пријема неопходних информација достављених од стране оператера СЕВЕСО комплекса, у складу са прописима којима се уређује заштита животне средине. Овај План је саставни део Плана заштите и спасавања јединице локалне самоуправе. Циљ израде Плана је ограничити и контролисати инцидент да се ефекти сведу на најмању меру и да се ограничи штета по људско здравље, животну средину и имовину; да се спроведу неопходне мере заштите здравља људи и животне средине од ефеката великог удеса; преношење неопходних информација јавности и релевантним надлежним службама или органима у области у којој се СЕВЕСО комплекс вишег реда налази; обезбедити повратак у пређашње стање и чишћења животне средине након великог удеса. Надлежни штаб за ванредне ситуације дужан је да, без одлагања, примени екстерни план заштите од великог удеса када дође до великог удеса или када дође до неконтролисаног развоја догађаја за који се може очекивати да ће довести до великог удеса.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Ванредне ситуације, а посебно елементарне непогоде и друге несреће природног и техничко технолошког порекла изазивају огромна разарања и остављају трајне последице по људе, њихову имовину, животну средину, а такође угрожавају и критичну инфраструктуру. Из тог разлога је неопходно спречити њихову појаву добрим управљањем ризиком. Свака потенцијално ванредна ситуација захтева доношење одговарајућих стандарда, као и законске и подзаконске регулативе од значаја за деловање и управљање ризиком. Крајњи циљ који се остварује кроз процес управљања ризиком јесте и дефинисање врсте, величине и распореда снага и средстава неопходних за ефикасан одговор на ванредне ситуације, али и на реалним показатељима засновано превентивно деловање што у у крајњем случају има за циљ, безбедност становништва, материјалних и културних добара.

Да би субјекти система смањења ризика од катастрофа, а посебно јединице локалне самоуправе, могле предузимати и спроводити уставне и законске обавезе у области смањења ризика од катастрофа, превентивног деловања, бриге о животу и здрављу људи, старања о животној средини, једном речју ***организовати заштиту од елементарних и других већих непогода и катастрофа***, неопходно је, пре свега, познавати нормативна документа која дефинишу област заштите и спасавања од ризика. Неприпремљеност и низак ниво капацитета локалне самоуправе, неадекватна стручна квалификованост и технолошка дисциплина расположивих људских ресурса, као и недостатак специјализованих кадрова, недовољна обученост професионалног кадра и неразвијена култура превенције указују да је припремљеност градова и општина на веома ниском нивоу. Проблеми су многобројни због неодговарајуће организације и спровођења, пре свега, превентивних мера, пре свега недонешених Процена ризика и Планова заштите и спасавања. Закон јасно дефинише обавезе градова и општина у систему смањења ризика од катастрофа додељујући им врло захтевне задатке, које они до сада нису са успехом извршавали. На то нас подсећају ванредне ситуације у протеклих 10. година, посебно из маја 2014. и марта 2016. године.

Надлежне службе у градовима и општинама, или само референти, да би са успехом управљали ризицима, пре свега, морају спроводити донету Одлуку о организацији и функционисању ЦЗ; донети план и програм развоја система ЗиС; планирати и утврдити изворе финансирања; образовати Штаб за ВрСи, обучити штаб и донети потребна документа за рад; одредити оспособљена правна лица која су значајна за ЗиС и ставити их у функцију заштите; израдити и донети Процену угрожености и План ЗиС; пратити опасности, обавештавати становништво о опасностима и предузимати друге превентивне мере за смањење ризика од елементарних непогода и других несрећа... Лица која раде на пословима заштите и спасавања (а има их јако мало и нису стручно едуковани) морају перманентно радити на заштити и спасавању штићених вредности општине/града..

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Закона о смањењу ризика од катастрофа и управљања ванредним ситуацијама „Службени гласник РС“, бр. 87/2018

[2] Упутство о Методологији израде и садржају процене ризика од катастрофа и плана заштите и спасавања, „Службени гласник РС“, бр. 80/2019

[3] Уредба о садржају и начину израде и обавезама субјеката у вези са израдом процене ризика од катастрофа и планова заштите и спасавања, „Службени гласник РС“, бр. 102/2020

[4] Одлука о одређивању субјеката од посебног значаја за заштиту и спасавање у Републикци Србији. „Службени гласник РС“, бр. 69/2019

[5] Уредба о садржају и начину израде плана смањења ризика од катастрофа. „Службени гласник РС“, бр. 22/2020

# ПРИМЕНА ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

# OPERATIONAL RESEARCH APPLICATIONS IN CIVIL ENGINEERING

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# PREDICTION OF GROUND DISPLACEMENT BASED ON RELEVANT DATA USING SATELLITE TECHNOLOGIES

BOJANA GRUJIĆ [1*], SANDRA KOSIĆ - JEREMIĆ [2], SNJEŽANA MAKSIMOVIĆ [2], TIJANA MAJKIĆ [3]

[1] Yamaguchi University, Graduate School of Science and Technology for Innovation - Department of Civil and Environmental Engineering Ube, Japan;
Department of Civil Engineering / University of Banja Luka, Faculty of Architecture, Civil Engieering and Geodesy, Bulevar vojvode Stepe Stepanovića 77/3; 78000 Banja Luka, Bosnia and Herzegovina;
(*corresponding author: bojana.grujic@aggf.unibl.org ; Bojana.g@yamaguchi-u.ac.jp)
[2] University of Banja Luka, Faculty of Architecture, Civil Engieering and Geodesy, Bulevar vojvode Stepe Stepanovića 77/3; 78000 Banja Luka, Bosnia and Herzegovina;
sandra.kosic-jeremic@aggf.unibl.org, snjezana.maksimovic@aggf.unibl.org
[3] Department of Civil Engineering, Faculty of technical Science University of Novi sad, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Republic of Serbia, majkictijana@uns.ac.rs

---

***Abstract:*** *The underground salt mine in Tuzla, Bosnia and Herzegovina (BiH) has caused one of the most serious ground subsidence problems in Europe. Uncontrolled salt extraction from this mine has produced about 80000000* $m^3$ *of salt water, with a salt mass deficit of about 12000000* $m^3$ *created below the immediate urban area of the city of Tuzla. This long-term uncontrolled process of extraction of salt water from the Tuzla mine has resulted in ground subsidence in the central part of the city, causing significant damage to the city infrastructure and facilities. This paper presents geohazard phenomenon caused by the exploitation of the salt mine in Tuzla, as well as the interpretation of the results monitoring measured by new satellite technology together with the previous results, i.e., 2004-2007 by GNSS, 2007-2013 by GNSS and geodetic surveys, and 2014-2019 by GNSS and DInSAR. The time transition for the subsidence obtained by DInSAR shows a good agreement with the monitoring results by GNSS. It is found that the subsidence in Tuzla is still on-going at a rate of 1-4 cm/year in the eastern area of the salt deposit. In a hilly section of the eastern area, a dominant horizontal displacement was detected by GNSS surveys. It is concluded that the combination of SBAS-DInSAR, GNSS, and geodetic surveys will be effective for monitoring both subsidence and landslide behavior.*

***Keywords:*** *geohazard phenomenon; salt mine; subsidence; monitoring; SBAS-DInSAR; GNSS/GPS*

---

## 1. INTRODUCTION

The subsidence in Tuzla, Bosnia and Herzegovina (BiH) has been creating a large hazard for a long period of time, mainly since 1950. The mine was closed from 2006-2007 by means of filling the salt mine rooms with water. However, the subsidence still continues over some parts of the city. Beginning in 1956, several investigations and geodetic surveys were conducted to measure the subsidence in Tuzla, i.e., traditional topographic surveys from 1956-2003 [7], GPS surveys from 2004-2007 [10], and GPS and geodetic surveys from 2007 [2,3]. The first author applied Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) by means of a Small Baseline Subset (SBAS) time-series algorithm for monitoring the subsidence from 2014-2019 [4,5]. It was found that SBAS-DInSAR can be a useful and effective tool for monitoring the subsidence in Tuzla. This paper presents the transition of the spatial distribution of subsidence from 1956 to 2019 and a comparison between the results of SBAS-DInSAR and GNSS taken from 2013-2019. The new monitoring results from 2013-2019 by GNSS are partially introduced. The discussion is extended to the time transition of the subsidence from 2004-2019 obtained for three time periods: 2004-2007 (GPS), 2007-2012 (GNSS), and 2013-2019 (GNSS and SBAS-DInSAR).

## 2. METHODOLOGY OF THE OCCURRENCE OF GROUND SURFACE MOVEMENTS

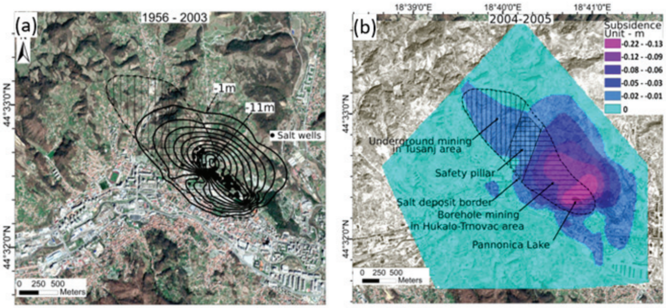
The Tuzla salt deposit is located under an urban area and extends over 2 km$^2$.The horizontal projection of the deposit has the shape of an ellipse, with a length of about 2500 m and a width of about 900 m. The geological features have been investigated by several authors [1,6,8,9,11].The deposit consists of five separated salt series, or stratigraphic layers, which contain salt rocks embedded in a syncline with one of the limbs close to the surface of the city's center. The maximum thickness of the salt formation is about 600 meters. It is composed of marls and clayey sandstones, salt rocks, banded marls, and anhydrite rocks. Primitive salt exploitation was achieved by natural brine and shallow salt water wells in the Neolithic period 6000 years ago. This was confirmed by the discovery of the ceramic fragments of holders from 3500 BC used to boil saltwater above hot charcoal [10]. Extensive exploitation of the deposits began in 1886, in the eastern part of the salt deposits in Trnovac-Hukalo, by pumping salt water through deep wells and using the uncontrolled leaching method. The exploitation of rock salt through pits began in 1967. In the period from 1983 to 1991, the so-called controlled leaching of the existing parts of the mine "Tušanj" was carried out. The intensive production of salt water by means of the uncontrolled leaching method caused extensive subsidence of up to -12 m of the terrain in the urban area of Tuzla. It induced serious damage to buildings and the infrastructure, such as water supply systems, sewage networks, and electric power lines [7,10]. For this reason, more than 2000 buildings collapsed or needed to be demolished and about 15,000 people had to evacuate the most affected area [7,10]. In the period from March 2006 to May 2007, a gradual suspension of the salt well exploitation was carried out. The official date of the termination of the exploitation of Tuzla's salt deposits was May 29, 2007 [2,3].

## 3. MONITORING RESULTS OF SUBSIDENCE

### 3.1. Spatial distribution from 1956-2007

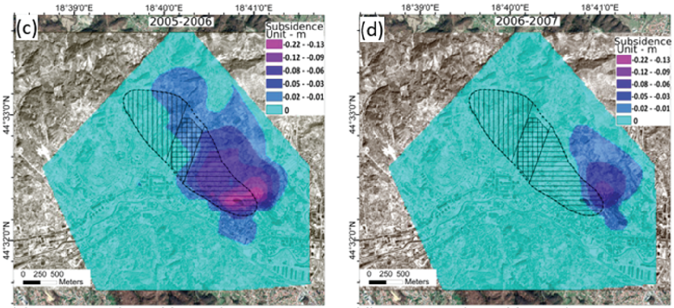
The first geodetic survey was conducted in Tuzla in 1914, and systematic geodetic surveys in the area of subsidence in the city of Tuzla were started in 1956. In order to monitor the actual process of the subsidence at the surface of the terrain and to determine the limits of the impact of the exploitation, a network of fixed points for geodetic surveys was set up in 1955. From 1956 to 1991, geodetic surveys were performed annually to measure the subsidence in Tuzla and to determine the spatial coordinates or position changes of the fixed points. The number of measurement points has changed over time. By 1991, about 1200 measurement points had been set, as a considerable number of them had been destroyed over time. Between 1956 and 1991, there were over 300 points with a known vertical displacement in the zone of subsidence, while there were about 40 points with a known horizontal displacement (Ministry of Industry, Energy and Mining in cooperation with Tušanj Salt Mine and Mining Institute Tuzla).

Figure 1(a) shows the contour lines for the subsidence from 1956-2003 presented by [7]. The figure reveals that the maximum subsidence reached -12 m. It was found that the large subsidence extended to the north of the city, including a residential area, and was shaped like a trough. Figure 1(b), (c), and (d) show the subsidence distributions measured at four different times by static GPS surveys, namely, in 2004, 2005, 2006, and 2007 [7,10]. The survey network was composed of six reference points and 60 densification measurement points [7]. The GPS results for 2004-2005 show that the subsidence continued at a rate of -12 ~ -22 cm/year in the north part of Pannonica Lakes (Figure 1(b)), although the rate had largely decreased compared to that of the previous period (1956-2003). A considerable area of the northeast part of the city was subjected to subsidence rates of -2 ~ -5 cm/year. In the period of 2005-2006, the subsidence rate decreased to -8 ~ -22 cm/year around Pannonica Lakes (Figure 1(c)). The GPS results from 2006-2007 showed that the subsidence was heading to the end almost everywhere, except for the area near Pannonica Lakes where the subsidence rate was still about -10 cm/year (Figure 1(d)) [7,10].



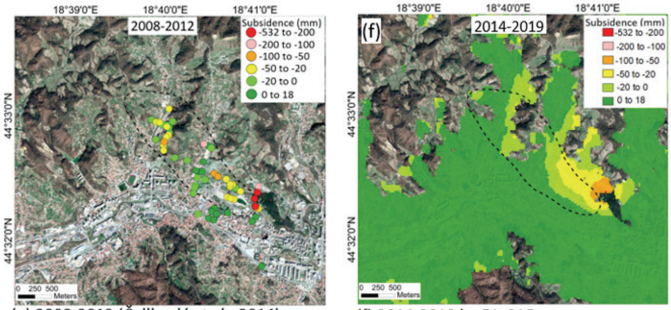
(a) 1956-2003 (Mancini et al., 2008)

(b) 2004-2005 (Stecchi, 2008)



(c) 2005-2006 (Stecchi, 2008)

(d) 2006-2007 (Stecchi, 2008)



(e) 2008-2012 (Čeliković et al., 2014)

(f) 2014-2019 by DInSAR

**Figure 2.** Time transition of spatial distribution of subsidence in Tuzla from 1956: (a) cumulative subsidence obtained by traditional topographic surveys from 1956-2003 presented by contour lines (dashed line indicates salt deposit border added by the authors), (b) subsidence in Tuzla obtained by GPS surveys from 2004 – 2005, (c) subsidence in Tuzla obtained by GPS surveys from 2005 – 2006, and (d) subsidence from 2006 to 2007, (e) Subsidence from 2008 to 2012 obtained by GNSS and geodetic methods, and (f) Subsidence from 2014 to 2019 obtained by SBAS-DInSAR.

### 3.2. Spatial distribution from 2008-2019

After the suspension of the operation of the salt wells, geodetic surveys of the terrain continued, as the number of points observed was changing. An analysis of the geodetic survey results showed that periodic and systematic surveying needed to be continued even after the suspension of the exploitation. Figure 1(e) shows the spatial distribution of the subsidence measured by GNSS and geodetic surveys from 2008-2012. The distribution of subsidence is similar to that by GNSS from 2004-2007. Large subsidence was found around the most eastern part of the salt deposit. The subsidence became small toward the northwest parts of the salt deposit. The maximum subsidence of -53.2 cm was found at a point in a hilly area located in the southeast part of the salt deposit. Figure 1(f) shows the spatial distribution of the subsidence obtained by SBAS-DInSAR for the period of October 2014 to May 2019. This spatial distribution is similar to those by GNSS surveys from 2004-2007 and by GNSS and geodetic surveys from 2008-2012. It means that the subsidence still continued in a similar manner even after the extraction of salt water had been terminated in 2007. However, the absolute value of the subsidence has been decreasing. It is also important to reveal the mechanism of the present subsidence behavior. From Figure 1(a)-(f), the location of the large subsidence area is seen to have moved to the southeast border of the salt mine deposit (northeast from Pannonica Lakes), while it was located in the center of the salt mine region in the previous period (1956-2003). It should be noted that the complex hydrodynamic groundwater system for the city of Tuzla plays a major role in the creation and speed of the settlement. In the northeast hilly area of Pannonica Lakes, large horizontal displacements were detected [2,3] and the complex behavior comprising a combination of landslides and subsidence has appeared.

### 3.3. Time-transition from 2004-2019

In this section, the time transition of the subsidence over the past 15 years is discussed using the monitoring results by GNSS (2004-2007), GNNS (2007-2012), GNSS (2013-2018), and DInSAR (2014-2019). Figure 2 shows the locations of the measurement points for all the GNSS surveys. From all those points, four are selected for a discussion on the transition of the subsidence from 2004 to 2019. Figure 3 shows the time transition of the subsidence obtained by GPS (2004-2007), GPS (2007-2012), GNSS (2013-2018), and DInSAR (2014-2019) at selected points, namely, Nos. 7, 16, 34, and 37. Point No. 7, is located in the southern part of the salt deposit near Panonnica Lakes (Figure 2). From Figure 3(a), it is found that large subsidence with a value of -40 mm/year was still occurring in the period from 2004-2007. However, it gradually decreased in the period from 2007-2012 and decreased to -10 mm/year from 2013-2019. It should be noted that a good agreement was found between the GNSS (2013-2018) and the DInSAR (2014-2019) monitoring.

Point No. 16 is located outside of the Tuzla salt deposit (Figure 2). It is in the zone of the highest subsidence, as shown in Figure 1(e)-(f) (2008-2019). From 2004-2007, the rate of the subsidence was about 100 mm/year (Figure 3(b)). Although it decreased to 30 mm/year from 2008-2012, it increased to 70 mm/year from 2013-2019 based on the measurement results by both of GNSS and DInSAR. The results of GNSS and DInSAR also show a good agreement in this period.

Point No. 34 also lies outside the Tuzla salt mine in the southwestern part (Figure 2). It has been stable for the last 15 years, although small subsidence appeared from 2008-2012 (Figure 3(c)). It is important to note the good agreement between the monitoring results by GNSS (2013-2018) and DInSAR (2014-2019). Considering the time transition of Point No. 37 (Figure 2), it should be emphasized that, in the past, the subsidence tended to be -2.5 mm/year, while in the last two periods it was stable without subsidence (Figure 3(d)). Here, a good agreement can also be confirmed between the monitoring results by GNSS (2013-2018) and DINSAR (2014-2019).

Based on the continuous monitoring of the time transitions in the Tuzla salt deposit and an analysis of the results, it is possible to predict the future movements of individual zones. Therefore, the continuity of the monitoring of subsidence is necessary for organizing and solving the difficult issues that Tuzla City must face. The combination of SBAS-DInSAR, GNSS, and geodetic surveys will be effective for monitoring both subsidence and landslide behavior.

## 4. CONCLUSIONS

The presented case study has focused on monitoring the subsidence induced by salt mining activities in Tuzla, Bosnia and Herzegovina by means of SBAS-DInSAR, GNSS, and geodetic surveys from 2004-2019. The time transition of the subsidence obtained by DInSAR showed a good agreement with the monitoring results by GNSS, and it detected that the subsidence is still on-going at a rate of -10 ~ -40 mm/year in the eastern area of the salt deposit. The location of the large subsidence area has shifted to the southeast border of the salt mine deposit (northeast of Pannonica Lakes), while it was located in the center of the salt mine region in the previous period (1956-2003). The combination of SBAS-DInSAR, GNSS, and geodetic surveys will be effective for monitoring the subsidence in Tuzla in future periods.

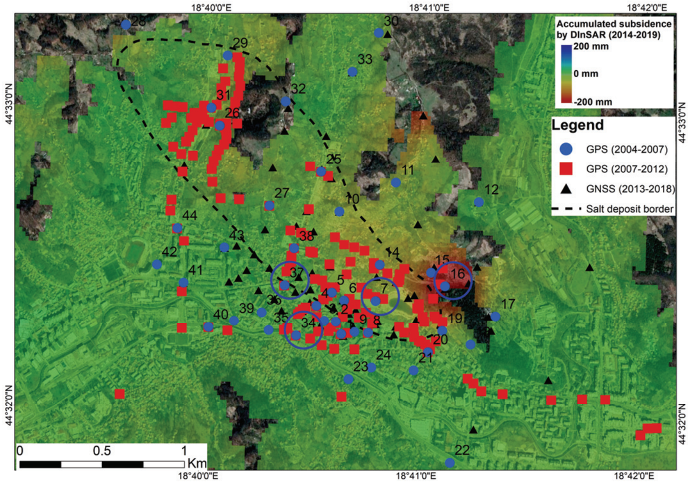


**Figure 2.** Locations of GPS and GNSS survey points and accumulated subsidence obtained by DInSAR results (2014-2019).

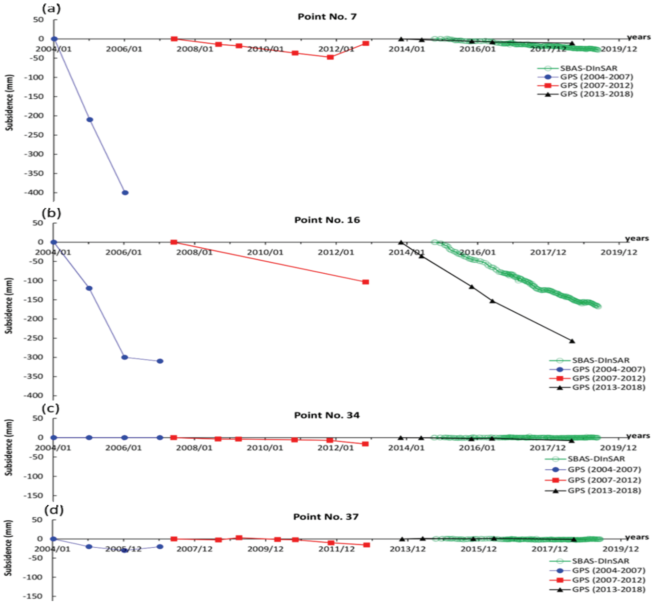


**Figure 3.** Time transition of subsidence obtained by GPS (2004-2007), GPS (2007-2012), GNSS (2013-2018), and DInSAR results (2014-2019): (a) Point No. 7, (b) Point No. 16, (c) Point No. 34, and (d) Point No. 37.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research was partially supported by JSPS KAKENHI (Grant-in-Aid for Scientific Research, Japan Society for the Promotion of Science - Bojana Grujić) and by the International Collaborative Research Fund of Yamaguchi University in Japan. The authors wish to express their appreciation to those agencies for their funding.

## REFERENCES

[1] Cicić, S. (2002). Geological composition and tectonic terrain of Bosnia and Herzegovina(in Bosnian). In: Hrvatović H. (eds) Geological Guidebook through Bosnia and Herzegovina. Sarajevo: Geological Survey of Federation Bosnia and Herzegovina.

[2] Čeliković, R. and Imamović, E. (2016). Continuous GNSS movement monitoring in the zone of influence of Tuzla salt deposit., presented at the *Int Symp Eng Geodesy 2016*, 489–498.

[3] Čeliković, R., Imamović, E., Salihović. R., and Sušić, A. (2014). Prostorno vremenska analiza vertikalnih pomjeranja terena u tuzli za period 2008-2012, in *Zbornik radova GEO-EXPO 2014*, Društvo za geotehniku u Bosni i Hercegovini, 38–44. doi: 10.35123/GEO-EXPO_2014_6.

[4] Grujić, B., Parwata, I. N. S., Shimizu, N., Zekan, S., Čeliković, R., Imamović, E. and Vrkljan, I. (2019). Validity of SBAS-DInSAR Monitoring of Subsidence Induced by Salt Mining in Tuzla, *Proceedings of ISRM Specialized Conference on Geotechnical Challenges in Karst*, Omiš - Split, Croatia, 311-316.

[5] Grujić, B., Parwata, I. N. S., Shimizu, N., Zekan, S., Čeliković, R., Imamović, E. and Vrkljan, I. (2020). SBAS-DlnSAR monitoring of subsidence induced by extracting brine from an underground salt deposit in Tuzla, Bosnia and Herzegovina, *Proceedings of International Conference on Sustainability Science and Management: Advanced Technology in Environmental Research (CORECT-IJJSS 2019)*, E3S Web Conference, EDP Sciences, 153: 03007

[6] Katzer, F. (1903). Geological guide through Bosnia and Herzegovina, Sarajevo (in Bosnian). In: Hrvatović H. (eds) Geological Guidebook through Bosnia and Herzegovina. Sarajevo: Geological Survey of Federation Bosnia and Herzegovina.

[7] Mancini, F., Stecchi, F., and Gabbianelli, G. (2009). GIS-based assessment of risk due to salt mining activities at Tuzla (Bosnia and Herzegovina), *Eng. Geol.*, vol. 109, no. 3–4, 170–182, doi: 10.1016/j.enggeo.2009.06.018.

[8] Soklić, I. (1959). Miocene Paleogeography and origin of salt deposits in Tuzla. (in Croatian). In: Hrvatović H. (eds) Geological Guidebook through Bosnia and Herzegovina. Sarajevo: Geological Survey of Federation Bosnia and Herzegovina.

[9] Soklić, I. (1964). Origin and structures of the Tuzla basin. Geoloski glasnik. In: Hrvatović H. (eds) Geological Guidebook through Bosnia and Herzegovina. Sarajevo: Geological Survey of Federation Bosnia and Herzegovina.

[10] Stecchi, F, Antonellini, M., and Gabbianelli, G. (2009). Curvature analysis as a tool for subsidence-related risk zones identification in the city of Tuzla (BiH), *Geomorphology*, vol. 107, no. 3–4, 316–325, doi: 10.1016/j.geomorph.2008.12.013.

[11] Stevanović, P. (1977). Pont. (Ed. Geology of the Bosnia and Herzegovina), Book Ill Cenozoic periods. In: Hrvatović H. (eds) Geological Guidebook through Bosnia and Herzegovina. Sarajevo: Geological Survey of Federation Bosnia and Herzegovina.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА МЕТОДА ЗА ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ БАФЕРА У МЕТОДИ КРИТИЧНОГ ЛАНЦА

# COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR BUFFER SIZING IN THE CRITICAL CHAIN METHOD

ГОРАН ЋИРОВИЋ[1], НАТАША ПОПОВИЋ-МИЛЕТИЋ [2], ДРАГАН ПАМУЧАР [3]

[1] Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, cirovic@orion.rs
[2]Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Бања Лука, natasa.popovic-miletic@aggf.unibl.org
[3] Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, dragan.pamucar@fon.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Управљање пројектима подразумијева успјешно балансирање, тј. управљање ресурсима и прилагођавање промјенама у стварном окружењу. Метода критичног ланца CCM се показала ефикаснија у управљању пројектима од традицоналне методе критичног пута CPM. У раду су приказани недостаци CPM методе и објашњено је како их превазилази CCM метода. Такође, су приказане различите методе за димензионисање временских бафера у методи CCM. Комапаривна нализа свих метода је урађена кроз студију случаја изградње стамбене зграде. Резултати су показали да је метода CCM-APD најефикаснија за планирање и управљање пројектима у грађевинарству.*

***Кључне речи:*** *управљање пројектима,критични ланац, CCM, бафери, критични пут, CPM.*

***Abstract:*** *Project management implies successful balancing, i.e. managing resources and adapting to changes in the real environment. The CCM critical chain method has proven to be more effective in project management than the traditional CPM critical path method. The paper shows the shortcomings of the CPM method and explains how the CCM method overcomes them. Also, different methods for sizing time buffers in the CCM method are presented. A comparative analysis of all methods was done through a case study of the construction of a residential building. The results showed that the CCM-APD method is the most effective for planning and project management in construction.*

***Keywords:*** *project management, critical chain, CCM, buffers, critical path, CPM.*

---

## 1. УВОД

Управљање пројектима у грађевинарству је комплексан посао, испуњен неизвјесношћу и ризицима. Сваки грађевински пројекат је уникатан и због тога је тешко предвиђети могуће ризике и проблеме који се могу јавити током реализације пројекта. Главни циљ управљања пројектима је да се пројекат реализује у планираном времену трајања, у оквиру планираног буџета и да се постигне планирани квалитет радова. У грађевинарству је тешко оставрити све наведенене критеријуме. Планирано вријеме реализације пројекта се често не може испоштовати и долази до продужења планираног рока изградње грађевинских објеката. Стога је евидентно да постоје значајна ограничења приликом планирања и управљања пројкетима у грађевинарству традиционалним методама попут методе критичног пута (енг. Critical Path Method - CPM) и метода оцјене и ревизије програма (енг. Program Evaluation Review Techniques - PERT). Од 1997. године у техници планирања се користи нова метода под називом метода критичног ланца (енг. Critical Chain Method – CCM), која постаје популарна и конкурентна традиционалној методи критичног пута CPM.

У раду је приказана методологија планиранја и управљања пројектима помоћу метода критичног ланца CCM, те су приказане њене различите варијанте и извршено је поређење добијених разултата.

## 2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

Традиционалне методе за планирање пројеката CPM и PERT су доста критиковане због чињенице да занемарују утицај људског понашања на реализацију пројекта [4,8]. Наведени истраживачи тврде да су занемарени људски фактори често један од најзначајнијих узрока кашњења пројекта. Новија истраживања се више фокусирају на људски фактор као елемент успјеха или неуспјеха пројекта. Постало је широко прихваћено да људи чине пројекат успјешним, а не методе или софтвери [4,8]. Традиционални детерминистички алати за управљање пројектима оптужени су да су неадекватни за употребу у динамичком окружењу пројекта, посебно јер игноришу људски фактор понашања. Штавише, резултати истраживања показују да се теоријско планирања пројеката фокусира на секвенцирање активности, расподјелу ресурса и оптимизацију, док се планирање у пракси више фокусира на друштвене и организационе процеса [2,7]. Истраживање у Холандији и Белгији је показало да су софтвери за планирање пројеката више кориштени за комуникацију и праћење реализације пројекта, него за оптимизацију плана пројекта [3].

Проблеми управљања традиционалним методама су:

- Студентски синдром (претпоставка да имамо више времена да завршимо активности),
- Паркинсонов закон (не промовише се завршавање активности прије времена и почетак наредних активности прије планираног почетка, тј. настоји се искористити сво вријеме које је планирано за извршење активности),
- Искориштавање времнских резерви активности,
- Рад истог ресурса на више паралелних активности (енг. Multi-tasking),
- Спајање путева у мрежном плану (некритични путеви постају критични).

Наведени проблеми који се јављају приликом планирања и управљења пројектима помоћу CPM/PERT методе, могу се превазићи помоћу новије методе за управљање пројектима која се зове метода критичног ланца (енг. Critical Chain Method – CCM). Метода CCM се показала ефикаснијом за планирање и контролу распоређивања ресурса јер у обзир узима неизвјесност, људске факторе, недостатке процедуре за планирање и управљање више пројеката истовремено, проблеме који се односе на често мијењање критичног пута, изгубљени фокус и неефикасне процедуре надгледања током реализације пројекта. CCM методу је осмислио Goldratt, који је први пут представио 1997. године у новели “Critical Chain“ у којој критикује статично детерминистичко планирање [1]. CCM се базира се на теорији ограничења (енг. Theory of Constraints – TOC). Ова метода представља један сасвим нови начин размишљања, где се акценат ставља на агресивно скраћење трајања активности, управљање временским заштитницима пројекта (енг. Project buffer) умјесто временским резервама активности и нагласак на ресурсе да заврше активности на вријеме. Основна замисао аутора методе је да се идентификује критични ланац активности, на сличан начин као и критични пут, али се у обзир узимају логични односи, тј. везе између активности (као у CPM методи) и ограничења ресурса [10]. План пројекта се штити од поремећаја помоћу различитих врста временских заштитника (енг. buffer) постављених на стратешка мјеста [5,6,7].

CCM метода рјешава проблеме који се јављају код традиционалних метода управљања и планирања пројеката на следеће начине:

- Елиминисањем фиксних датума завршетака групе радова и пројекта ,
- Задавање реалног трајања активностима, са вјероватноћом од 50%, умјесто песимистичног трајања са вјероватноћом од 90 %,
- Сви учесници у пројекту требају да се труде да заврше активности што је пре могуће,

- Планирање некритичних активности „што је касније могуће“. Овим се спречава да исти ресурси раде истовремено на више активности и омогућава се критичним активностима да имају доступне ресурсе.

У методи критичног пута активности се штите од неизвјесности помоћу временских резерви, које омогућавају активностима, а самим тим и пројекту, да се заврше на вријеме.

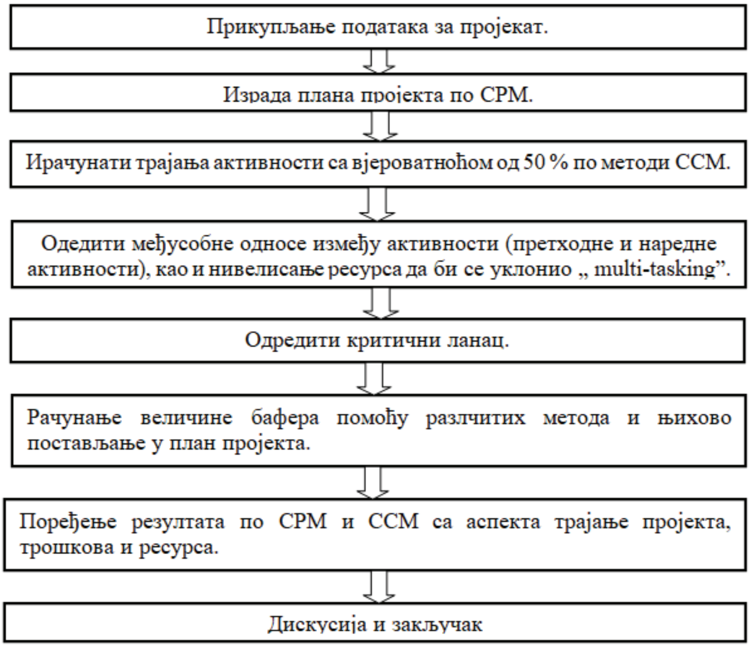
Метода критичног ланца користи другачији начин заштите од неизвјесности. Циљ CCM методе је да се заштити пројекат од закашњења, а не активности појединачно. У CCM методи активности немају временске резерве, а сигурност и заштита од неизвјесности која је одузета активностима се сабира и убацује се на крају сваког ланца, тј. пута у мрежном дијаграму у виду временских заштитника (енг. buffer) [7].

CCM метода користи три врсте бафера:

- Бафер пројекта, тј. временски заштитник пројекта (енг. Project Buffer – PB). Поставља се између посљедње активности критичног ланца и датума завршетка пројекта, како би се критични ланац заштитио од кашњења.
- Бафер снабдјевања, тј. временски заштитник ланца снабдјевања, односно некритичног ланца (енг. Feeding Buffer - FB). Убацује се након посљедње активности некритичног ланца (ланца снабдјевања) како би се критични ланац заштитио од кашњења некритичног ланца.
- Бафер ресурса, тј. заштитник ресурса (енг. Resource Buffer - RB). За активности критичног ланца обезбјеђен је бафер ресурса како би се осигурало да су им ресурси доступни када је то потребно.

## 3. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

У раду се успоређује CCM метода и традиционални CPM кроз студију случаја изградње стамбене зграде. Подаци се прикупљају из стварног пројекта. MS-Project софтвер се користи као алат за планирање пројекта.

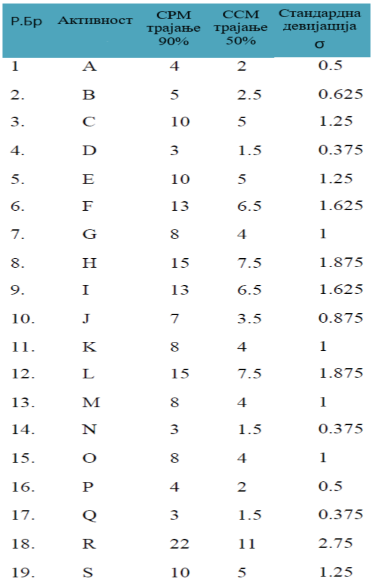


**Слика 1:** Методологија истраживања

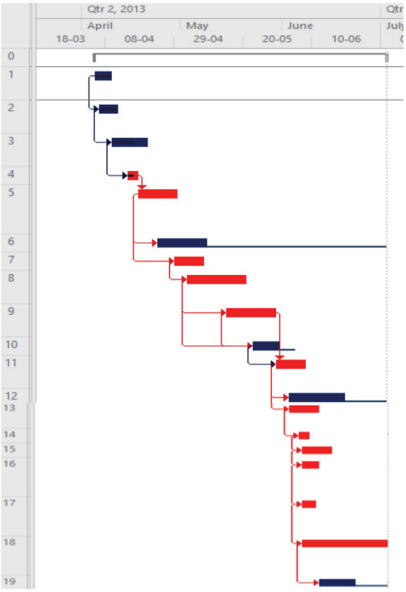
Методологија поређења CCM и CPM је приказана на слици 1. Након прорачуна бафера различитим методама, урађена је компарација добијених резултата и дат је закључак која метода је погоднија за примјену у грађевинарству.

## 4. РЕЗУЛТАТИ ИСПРАЖИВАЊА

На слици 2. су дати улазни подаци за израду планова по методама CCM и CPM.



| Р.Бр | Активност | CPM трајање 90% | CCM трајање 50% | Стандардна девијација σ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | A | 4 | 2 | 0.5 |
| 2. | B | 5 | 2.5 | 0.625 |
| 3. | C | 10 | 5 | 1.25 |
| 4. | D | 3 | 1.5 | 0.375 |
| 5. | E | 10 | 5 | 1.25 |
| 6. | F | 13 | 6.5 | 1.625 |
| 7. | G | 8 | 4 | 1 |
| 8. | H | 15 | 7.5 | 1.875 |
| 9. | I | 13 | 6.5 | 1.625 |
| 10. | J | 7 | 3.5 | 0.875 |
| 11. | K | 8 | 4 | 1 |
| 12. | L | 15 | 7.5 | 1.875 |
| 13. | M | 8 | 4 | 1 |
| 14. | N | 3 | 1.5 | 0.375 |
| 15. | O | 8 | 4 | 1 |
| 16. | P | 4 | 2 | 0.5 |
| 17. | Q | 3 | 1.5 | 0.375 |
| 18. | R | 22 | 11 | 2.75 |
| 19. | S | 10 | 5 | 1.25 |



**Слика 2:** Подаци за пројекат стамбене зграде и гантограм радова по CPM методи

CCM бафери су димензионисани помоћу четири различите методе:

- C&PM (енг. Cut and Paste Method)
- RSEM (енг. Root Square Error Method)
- APRT (енг. Adaptive Procedure With Resource Tightness Method)
- APD (енг. Adaptive Procedure With Density Method)

C&PM је прва предложена метода одређивања величине бафера од стране Goldratta у књизи „Критични ланац“ из 1997. године, која је најједноставнија од свих метода за одређивање величине бафера. По C&PM методи величина бафера пројекта PB једнака половини трајања критичног ланца, а величина бафера снабдјевања FB једнака је половини трајања ланца снбдјевања, тј. некритичног ланца [1,2,6]. Иако се овом методом врло лако израчуна величина бафера, она има ограничења као што су занемаривање несигурности присутних у активностима, као и активности које дуго трају производе велике бафере.

RSEM метода одређује вриједност бафера као квадратни коријен збира квадрата разлике између оригиналног трајања (90%) и агресивног трајања (50%) за сваку активност дуж ланца. Нешто је боља од методе C&PM, али ова метода се повезује с ограничењем да је вјероватноћа трајања већа од 90%, што вјероватно смањује величину бафера пројекта PB више него што је потребно за критичне ланце, али се добијају веће вриједности бафера снабдјевања FB. Ово је главни недостатак ове методе. Премали пројектни бафер и превелики бафери снабдјевања доводе до неуспјеха пројекта [6,7].

APRT метода одређује величину бафера као производ фактора скалирања 'К' заснованог на стопи компресије ресурса и стандардне девијације активности које прати бафер [9].

$$\text{Бафер} = \text{К} * \sigma \qquad (1)$$

Гдје је К = (укупно употребљен ресурс / укупно доступан ресурс).

Овдје се у прорачуну стандардне девијације ланца примјењује средишња гранична теорема, која наглашава да је просјечно трајање пута једнако збиру просјечних трајања активности који чини ланац. Такође, варијација у ланцу једнака је збиру варијација активности које формирају ланац. Квадратни коријен варијансе даје вриједност стандардне девијације.

APD метода користи концепт да на повећање кашњења у пројекту утиче већа сложеност мрежног плана пројекта, односно већи број предходних веза (актвности) међу активностима (тј. међузависност између активности је директно пропорционална кашњењима која се јављају у пројекту). Што је мрежни план пројекта сложенији, тј. активности имају велик број претходних активности, то су веће могућности да ће доћи до кашњења пројекта.

APD метода одређује величину бафера као производ фактора сложености мрежног плана 'Н' и стандардне девијације активности које прати бафер [9] .

$$\text{Бафер} = \text{Н} * \sigma \qquad (2)$$

Гдје је Н=1+(укупан број претходних активности у посматраном ланцу / укупан број активности у посматраном ланцу).

Добијени резултати бафера PB и FB, као и трајање пројекта по свим методама су приказани у табели 1.

**Табела 1:** Вриједности бафера и трајање пројекта

| **Бафери** | **CPM** | **CCM** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **C&PM** | **RSEM** | **APRT** | **APD** |
| | **дани** | **дани** | **дани** | **дани** | **дани** |
| PB | | 26.25 | 17.87 | 71.85 | 19.89 |
| FB1 | | 4.75 | 5.94 | 1.25 | 2.09 |
| FB2 | | 3.25 | 6.5 | 1.625 | 1.625 |
| FB3 | | 1.75 | 3.5 | 0.875 | 0.875 |
| FB4 | | 3.75 | 7.5 | 1.875 | 1.875 |
| FB5 | | 2.5 | 5 | 1.25 | 1.25 |
| Укупно трајање пројекта | 90 | 78.75 | 70.37 | 124.35 | 72.39 |

## 5. ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧАК

На основу података из табеле 1., види се да метода CCM даје боље резултате у односу на CPM методу, са спекта трајања пројекта. Методом CCM се добија краће трајање пројекта, него методом CPM. Међутим, и метода CCM даје различите вриједност бафера и трајање пројекта, што зависи од примјењене методе за димензионисање бафери. Најкраће трајање пројекта дају RSEM и APD методе, док метода APRT даје најдуже трајање пројекта. Рангирање метода према трајању пројекта је следеће: RSEM < APD < C&PM < APRT. Поредећи добијене вриједности бафера пројекта PB, најмање вриједности PB се добијају помоћу RSEM методе, а највећа вриједност PB даје APRT метода. Рангирање метода према величини PB је следеће: RSEM < APD < C&PM < APRT . Поредећи добијене вриједности бафера снабдјевања FB, најмање вриједности FB се добијају помоћу APRT и APD методе, а највећа вриједност FB даје RSEM метода. Рангирање метода према величини FB је следеће: APRT < APD < C&PM < RSEM.

Са аспекта трајања пројекта и вриједности PB, метода RSEM даје незнатно боље (краће) резултате од APD методе. Међутим, RSEM метода не укључује у прорачун бафера фактор неизвјесности, док APD метода укључује. Према томе, метода CCM-APD се показала као најефикаснија за планирање и управљање пројектима у грађевинарству.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Goldratt, E. (1997). Critical Chain. North River Press, Massachusetts.

[2] Herroelen, W., Leus, R. (2005a). Identification and illumination of popular misconceptions about project scheduling and time buffering in a resource-constrained environment. *Journal of the Operational Research Societ,* 56, 102-109.

[3] Herroelen, W., Leus, R. (2005b). Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials. *European Journal of Operational Researc,.* 165(2), 289-306.

[4] Jaafari, A., (1983). "Criticism of CPM for project planning analysis", *Journal of Construction Engineering and Management*, 110 (2), 222-233.

[5] Kerzner, H., (2003). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*, Eighth Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.

[6] Leach, L. P., (2004). Critical Chain Project Management, second ed. Artech House, Norwood.

[7] Lechler, T., Ronen, B. & Stohr, E. (2005). Critical chain: a new project management paradigm or old wine in new bottles? *Engineering Management Journal,* 17(4), 45-58.

[8] Stelth, P., Le Roy, G., (2009). "Projects' Analysis through CPM (Critical Path Method", *School of Doctoral Studies (European Union) Journal*, 1, 23-37.

[9] Tukel, O. I., Rom, W. O., Eksioglu, S.D., (2006). An investigation of buffer sizing techniques in critical chain scheduling. *European Journal of Operational Research*, 172(2), 401-416.

[10] Yang, J. B. (2007). How the critical chain scheduling method is working for construction. *Cost engineering,* 49 (4), 25-32.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА НАПРЕДНИХ АЛГОРИТАМА ПРИ ОДРЕЂИВАЊУ ПОЛОЖАЈА И ПРЕЧНИКА АРМАТУРНИХ ШИПКИ

# DETERMINING THE POSITION AND DIAMETER OF REINFORCING BARS BY ADVANCED ALGORITHMS

ДРАГАН НИКОЛИЋ[1], ДРАГАН БОЈОВИЋ [2], ГОРАН ЋИРОВИЋ [3], СЛАВОЉУБ ТОМИЋ[4]

[1] Академија техничко уметничких студија, Београд, nikolic@vggs.rs
[2] Институт ИМС а.д. Београд, dragan.bojovic@instututims.rs
[3] Факултет техничких наука, Нови Сад, cirovic@orion.rs
[4] Академија техничко уметничких студија, Београд, geotomic@mts.rs

---

***Резиме:*** *Иако примена различитих модела уређаја за одређивање положаја и пречника арматуре применом магнетне индукције се свакодневно примењује у пракси, у домаћој литератури нису заступљени радови који описују могућности примене уређаја и описују резултате експерименталних истраживања. У овом раду су приказани резултати експерименталних истраживања применом уређаја Proceq Profometer 650 AI (Artifical Inteligence). Применом импулсне електромагнетне индукције, овим уређајем је могуће одредити дебљину заштитног слоја бетона до арматуре и пречник арматуре. У софтверу који управља уређајем су имплементирани алгоритми вештачке интелигенције и помоћу којих се повећава прецизност мерења положаја шипки арматуре недеструктивним методама.*

***Кључне речи:*** *Proceq профометар, одређивање положаја и пречника арматуре, напредни алгоритми.*

***Abstract:*** *While the application of different models of devices for determining the position and diameter of reinforcement using magnetic induction is applied daily in practice, there are no research papers in the domestic literature that describe the possibilities of using the device and describe the results of experimental research. This paper presents the results of experimental research using the Proceq Profometer 650 AI (Artificial Intelligence) device. Using pulsed electromagnetic induction, this device can determine the concrete cover depth. Artificial intelligence algorithms have been implemented in the software that controls the device, and with the help of which the precision of measuring the position of reinforcement bars is increased by non-destructive methods..*

***Keywords:*** *Proceq profometer, determining positiona and diameter, advanced algorithms.*

---

## 1. УВОД

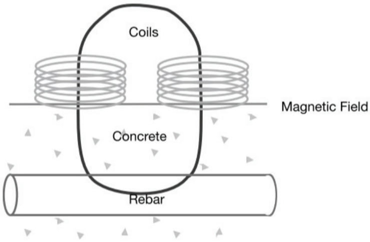
При анализи постојећих армиранобетонских елемената је потребно поред квалитета бетона познавати и распоред (положај) и пречник шипки да би се могла одредити носивост елемента у жељеном попречном пресеку. Врло често не постоји техничка документација на основу које се може претпоставити површина постојеће арматуре унутар елемента. Применом деструктивних метода (уклањање заштитног слоја бетона) се не може брзо и ефикасно утврдити постојећа арматура у елементу. Шипке могу бити на различитим дубинама, може постојати више редова арматуре тако да уколико би се уклонио бетон до постојећих подужних шипки арматуре, нарушила би се носивост АБ елемента. Профометри имају широку примену при недеструктивном одређивању положаја и пречника шипки арматуре. Примена електромагнетне индукције омогућава релативно брзо и ефикасно одређивање положаја шипки арматуре када су појединачне шипке издвојене и удаљене једна од друге [2]. Конкретно, сензор уређаја Profometar 650 AI мери интензитет електромагнетног поља по површини узорка по којој се креће.

Примена профометра при одређивању положаја шипки арматуре и електричних инсталација у зидовима није новина и постоје вишедеценијски развој уређаја више светских компанија (Hilti, Proceq). Последњих 5 година развој уређаја је значајно напредовао, пре свага у примени напредних алгоритама при обради резултата испитивања [3,4].

**Слика 1:** Савремени уређаји за одређивање положаја и пречника арматуре: Hilti Ferroscan PS 1000 и Proceq Profometer 650 AI

## 2. ОПИС МЕТОДЕ И ОГРАНИЧЕЊА ПРИ ПРИМЕНИ

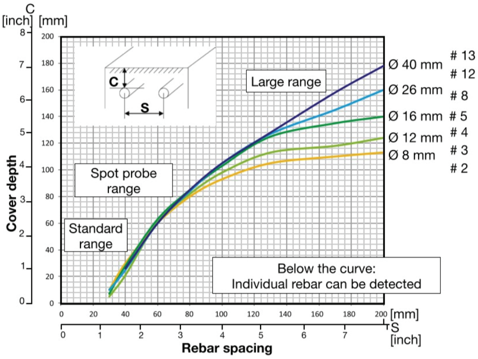
Метода се заснива на генерисању магнетног поља помоћу калема у сензору уређаја. Калеми у сензору периодично мењају смер струје и на тај начин генеришу магнетно поље. Када се у магнетном пољу појави материјал са способношћу провођења електрицитета, на површини материјала се генерише једносмерна струја и индукује се магнетно поље у супротном смеру. Промена напона у сензору се користи као вредност на основу које се процењује положај и пречник шипке арматуре.



**Слика 2:** Примена електромагнетне импулсне индукције [1]

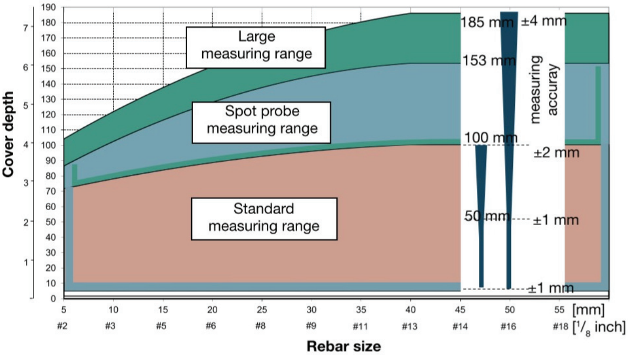
У сензору се налази више различито распоређених калема који генеришу више магнетних поља. Напредна обрада и анализа добијених сигнала омогућава лоцирање шипки арматуре и процену пречника. Метода није примењива на детекцију материјала који немају проводничка својства (дрво, пластика, гума…). Утицај на резултат мерења имају сви метални предмети на удаљености до 40cm од положаја сензора. Посебно значајан утицај на резултат мерења имају друге шипке арматуре на удаљености мањој од 15cm.

На Слици 3 дат је минимални размак шипки у односу на дебљину заштитног слоја који може бити детектован. Уређај је калибрисан за мерење уобичајеног распореда челичне арматуре која није легирана [1].



**Слика 3:** Резолуција мерења [1]

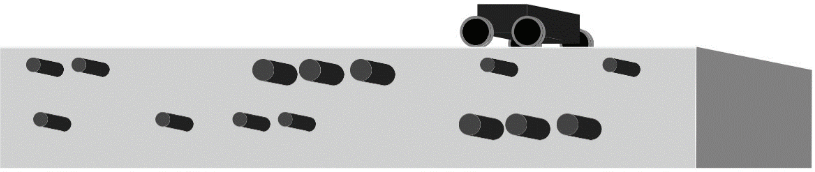
Опсег мерења (Слика 4) превасходно зависи од предметног пречника шипке арматуре и дебљине заштитног слоја.



**Слика 4:** Опсег мерења [1]

Мерење пречника арматуре је сложена функција величине и размака арматурне шипке која се мери и другог слоја шипки које су налазе управно на предметну шипку. За све практичне сврхе, када су захтеви за минимални размак су испуњени (размак између суседне 2 шипке за које се одређује пречник > 5 cm, размак шипки у другом слоју који је управан на шипке које се мере > 15 cm) може се очекивати тачност мерења пречника у опсегу ±1mm.

У вишеслојним распоредима арматуре (Слика 5), шипке у дубљим слојевима могу утицати на тачност мерење пречника шипке на површини елемента.



**Слика 5:** Мерење пречника у вишеслојном распореду арматуре

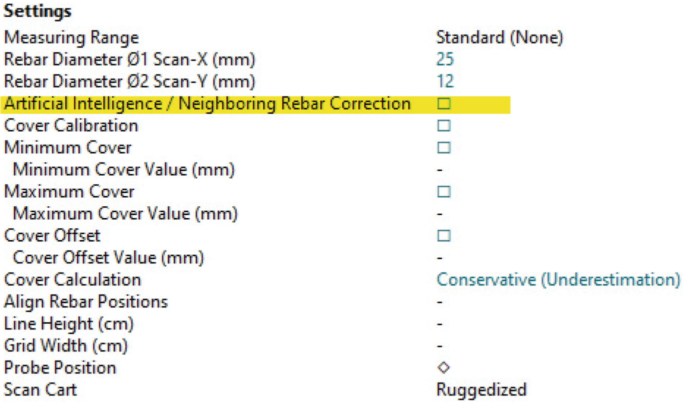
Профометар не може да открије да ли су арматурне шипке заварене једна за другу или повезане жицама за везивање. Две врсте арматуре са истим димензијама појединачних шипки стварају различите интензитете сигнале. Претходно подешавање пречника шипке (уношење претпостављеног пречника шипке) мора бити нешто веће од стварног пречника код арматурних мрежа да би се добио коректан резултат мерења дебљине заштитног слоја. Један од успрешних приступа је да се изврши мерење на отвореном систему (деструктивно уклоњен део бетона до арматуре).

## 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РАД

У оквиру овог поглавља приказано је недеструктивно испитивање положаја и пречника шипки арматуре у стубу у оси 12 моста преко реке Ибар - Мехов Крш (Деоница на км 294+800: Нови Пазар-Рибариће-државна граница са Црном Гором, Општина Тутин).

**Слика 6:** Стуб у оси 12 – мост преко реке Ибар – Мехов Крш

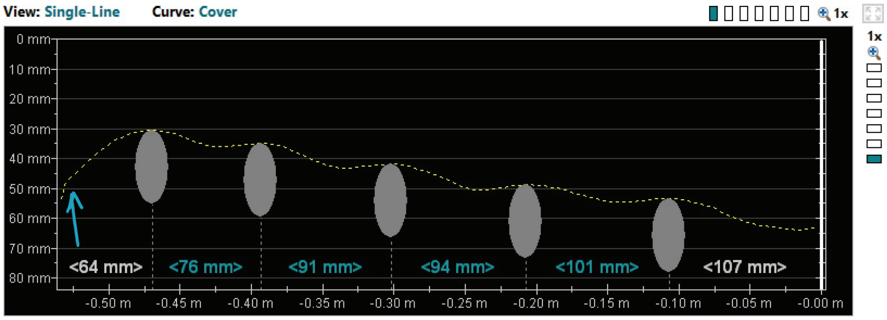
Одређивање положаја подужних шипки у стубу је вршено применом уређаја Proceq Profometer 650AI. При прелиминарном испитивању распореда вертикалних шипки претпостављени су улазни параметри који нису укључивали примену напредних алгоритама за процену дебљине заштитног слоја бетона (Слика 7). Претпостављен је пречник шипке Ø25. Постоји 6 вертикалних шипки арматуре дуж линије снимања на датом стубу. Прва шипка (позиција означена плавом стрелицом) је била врло близу спољашње ивице и није могла бити снимљена уређајем.



| **Settings** | |
|---|---|
| Measuring Range | Standard (None) |
| Rebar Diameter Ø1 Scan-X (mm) | 25 |
| Rebar Diameter Ø2 Scan-Y (mm) | 12 |
| Artificial Intelligence / Neighboring Rebar Correction | ☐ |
| Cover Calibration | ☐ |
| Minimum Cover | ☐ |
| Minimum Cover Value (mm) | - |
| Maximum Cover | ☐ |
| Maximum Cover Value (mm) | - |
| Cover Offset | ☐ |
| Cover Offset Value (mm) | - |
| Cover Calculation | Conservative (Underestimation) |
| Align Rebar Positions | - |
| Line Height (cm) | - |
| Grid Width (cm) | - |
| Probe Position | ◇ |
| Scan Cart | Ruggedized |

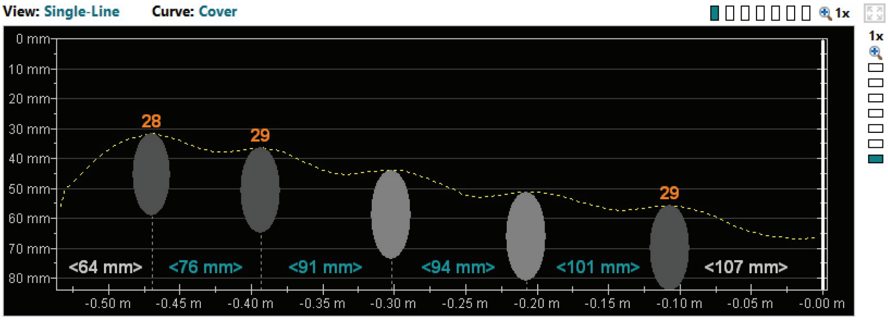
**Слика 7:** Улазни параметри

Јасно се уочава да су шипке на различитој удаљености од површине снимања. При прелиминарном снимању (за претпостављене параметре), друга шипка је измерена на 30.5mm, док је шеста шипка била на 53.4mm од површине снимања (Слика 8). Утврђено је и да се узентије налазе на размаку од 20cm.



**Слика 8:** Снимљени положај вертикалних шипки арматуре

При поновном снимању, на основу интензитета магнетног поља и распореда шипки арматуре претпостављени су промењени улазни параметри (претпостављен је пречник вертикалних шипки Ø30, односно узенгија Ø12). Укључена је примена напредних алгоритама и унесени су размаци шипки (9cm између вертикалних шипки и 20cm између узенгија).



**Слика 9:** Положај и пречник вертикалних шипки арматуре

Након корекције улазних параметара (уз примену напредних алгоритама), измерена је удаљеност друге и шесте шипке арматуре (31.5mm и 55.5mm). На основу измерених вредности пречника, може се тврдити да је шипка пречника Ø28mm са маргином ±1mm.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Одређивање пречника шипке арматуре у односу на положај (дебљина заштитног слоја бетона до арматуре) шипке арматуре у АБ елементу је веома сложен задатак. На тржишту су доступни савремене верзије профометара које тај процес чине знатно олачшаним. Са развојем уређаја и напредним софтверским решењима је неопходна дужа и сложенија обука оператера на уређају и примени програма за обраду снимљених резултата испитивања.

На основу спроведених и приказаних испитивања може се закључити да је самостална примена профометра при одређивању пречника арматуре погодна у зидовима и плочама (испуњен услов размака шипки које се мере и шипки које су управне на мерене шипке). Распоред арматуре пре свега у зидовима испуњава услов за мерење појединачне шипке арматуре која је дата у упутству за коришћење уређаја Proceq Profometer 650AI. Арматурне шипке у гредама и стубовима су на мањем међусобном растојању и значајно се компликује прецизност при одређивању пречника арматуре. Потребно је истаћи да код плоча и зидова мање дебљине од 15cm, положај арматуре у супротној зони армирања утиче на тачност мерења.

Посебну пажњу произвођач опреме посвећује мерењу пречника при употреби арматурних мрежа. Код арматурних мрежа појединачне шипке су међусобно заварене и при испитивању, интензитет магнетног поља има већу вредност у односу на појединачне шипке.

Одређивање дебљине заштитног слоја бетона до арматуре је поједностављен поступак у односу на мерење пречника и када се шипке налазе на дубини до 60mm од површине снимања, одступање измерене вредности се налази у границама ±1mm.

Proceq Profometer 650AI се током вишегодишње примене у пракси показао као веома поуздан и прецизан уређај за испитивање дебљине заштитног слоја бетона до арматуре, док одређивање пречника арматуре само са применом овог уређаја бројна ограничења. У неким случајевима (централне шипке арматуре у другом реду при армирању доње зоне гредних носача) није ни могуће извршити мерење пречника.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Proceq: Profometer PM-600/PM-630 Operating instructions, https://www.screeningeagle.com/en/products/category/concrete/rebar-diameter-cover

[2] Raupach, M., Büttner, T. (2014), Concrete Repair to EN 1504: Diagnosis, Design, Principles and Practice, CRC Press, London.

[3] ACI 228.2R-98 – Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete Structures, Concrete Repair Manual, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 1999

[4] Tešić,K., Baričević,A., Serdar, M. (2021), Usporedba učinkovitosti tragača armature i georadara u ocjeni stanja konstrukcija: primjeri iz prakse, Građevinar 73, 11, pp. 1131-1144.

[5] Hublova,S., Cikrle,P., Karel, I., Kocab, D.(2019), Experimental measurement of the diameter and cover depth of steel reinforcement using an electromagnetic concrete cover meter, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 549 012011

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ЈЕДНО РЈЕШЕЊЕ ЗА КРЕИРАЊЕ МОДЕЛА ПРОЦЈЕНЕ РИЗИКА

# ONE EXAMPLE OF CREATING THE RISK ASSESSMENT MODEL

ЈОВАНА ТОПАЛИЋ[1], ВЛАДИМИР МУЧЕНСКИ[2], ИГОР ПЕШКО[3]

[1] Факултет техничких наука, Нови Сад, jovatopalic90@uns.ac.rs
[2] Факултет техничких наука, Нови Сад, mucenskiv@gmail.com
[3] Факултет техничких наука, Нови Сад, igor.pesko@gmail.com

---

***Резиме:*** *Овај рад представља примјер једног рјешења за креирање модела процјене ризика. Овај модел који се анализира креиран је као резултат истраживања за потребе израде докторске дисертације. Користећи методе дескриптивне статистике, комбинујући квалитативно и квантитативно истраживање и користећи Делфи метод, креиран је јединствени модел прелиминарне процјене ризика за процес грађења постројења за пречишћавање отпадних вода. Процјена ризика је саставни дио процеса управљања ризицима и због тога је овакав модел непходан у процесу грађења постројења за пречишћавање отпадних вода. Модел се сатоји од 37 ризика, од којих сваки има тежински коефицијент одређен статистичким методама.*

***Кључне речи:*** *ризик, модел, процјена, статистика*

***Abstract:*** *This paper presents an example of a solution for creating a risk assessment model. This model being analysed was created due to research to prepare a doctoral dissertation. Using the methods of descriptive statistics, combining qualitative and quantitative research and the Delphi method, a unique model of preliminary risk assessment was created for building a wastewater treatment plant. Risk assessment is an integral part of the risk management process; therefore, such a model is necessary for building a wastewater treatment plant. The model has 37 risks, each with a weight coefficient determined by statistical methods.*

***Keywords:*** *risk, model, assessment, statistic*

---

## 1. УВОД

За потребе израде модела процјене ризика полази се од хипотезе да је могуће направити и оцјенити модел прелиминарне процјене ризика за процес грађења постројења за пречишћавање отпадних вода [4]. Овакав модел је неопходан за процјену грађевинских ризика у области пројектовања постројења за пречишћавање отпадних вода. Са аспекта планирања инвестиција грађевински ризици играју битну улогу. За израду модела користе се научне методе и теоријски експеримент у коме се примјењују статистичке методе. Овакав модел примарно је замишљен као помоћни алат за инжењере у почетним процесима планирања и пројектовања постројења за пречишћавање отпадних вода.

За ово истраживање одабрана је експертска Делфи метода, у којој је истраживач, докторанд руководио групом експерата специјализованом за процесе планирања, пројектовања и грађења Постројења за пречишћавање отпадних вода. За Делфи методу су креирани посеби упитници, а прије тога, идентификовано је 37 ризика специфичних за процесе грађења постројења за пречишћавање отпадних вода. Ови ризици су бирани узимајући у обзир аспекте грађевинског, а не технолошког пројектовања, што је уобичајена пракса. Идентификоване фрупе ризика су [4] :

1. Правни
2. Економски и финансијски
3. Логистички

4. Еколошки
5. Менаџерски (менаџмент пројекта)
6. Пројектантски

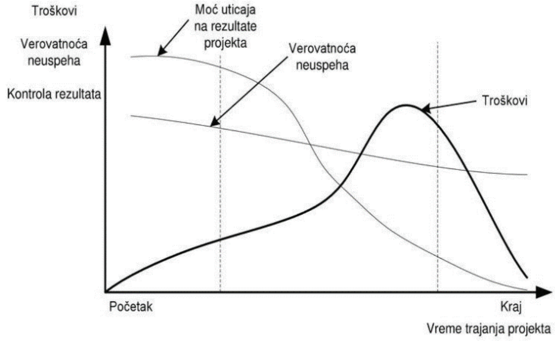
У склопу Делфи методе тим експерата је добијао посебно креиране упитнике са објашњењем сваког ризика и могућношћу оцјењивања са осјенама од 1 до 5 према Ликертовој скали. Ризик оцјењен оцјеном 5 има највећи утицај на пројекат, према ставу експерата. Након завршеног нултог круга, који представља уопштена питања, спроведена су два круга Делфи методе, и након другог круга, статистичком обрадом утврђено је да је постигнут консензус и да се може приступити креирању модела процјене ризика за процес грађења Постројења за пречишћавање отпадних вода.

Овакав модел би био специфична помоћ инжењерима који се буду сусретали са планирањем и пројектовањем ППОВ-а. Анализирани, систематизовани и квантификовани ризици на једном мјесту олакшали би процесе доношења одлука, идеја и измјена за саме пројекте.

На основу искуства и знања, човјек помоћу апстракције развија модел који одговара реалном систему. Ниво апстракције (који најчешће значи упрошћавање) утиче на валидност модела, тј. на ваљаност и успјешност представљања реалног система преко модела. Модел треба да што вјерније представи стварност, али истовремено да има изабране само елементе и карактеристике система, које су значајне за реализацију циља модела. Уколико овакав модел процјена ризика буде употребљен у почетним фазама инвестиције, лакше ће се евалуирати финансијски и економски дио инвестиције. Поред тога, видјеће се и мане цјелокупне инвестиције, које ће моћи на вријеме да се санирају. Да би се у потпуности сагледало становиште ризика и управљања ризицима, потребно је упознати се са њима и могућностима које добро планирање ризика доноси за пројекат.

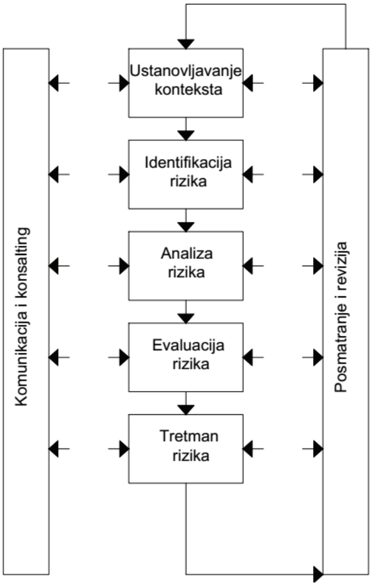
## 2. КРЕИРАЊЕ МОДЕЛА

Животни циклус пројекта са приказом ризика и трошкова у односу на трајање пројекта, јасно се може видјети на слици 1. На овом графику се види да су ризици највећи на почетку, али су трошкови минимални. Како се пројекат приближава крају дешава се врхунац, када су трошкови највећи, а то је већ пред сами крај пројекта јер су тада и утицаји ризика на резултате пројекта највећи. На самом крају пројекта, трошкови и ризици су на минимуму јер је пројекат изведен до краја.



**Слика 1:** Животни циклус пројекта [3]

Према стандарду ИСО 31000:2009**,** процес управљања ризицима представља систематичну примјену управљачких процедура и пракси зарад комуникације, консалтинга, идентификације, анализе, евалуације, истраживања, праћења и анализе ризика. Један од термина је и дефинисање контекста, који подразумијева одређивање спољашњих и унутрашњих параметара које треба узети у обзир током управљања ризицима, као и дефинисање критеријума приликом управљања ризицима. На слици 2 види се како је приказан преглед процеса управљања ризицима:



**Слика 2:** Преглед процеса управљања ризицима [2]

Да би се креирао модел процјене ризика одабран је теоријски експеримент и најпознатија експертска метода процјене - Делфи метода у којој је неопходно постизање консензуса и употреба статистичких метода. За ово истраживање спроведена су три круга истраживања. Кроз сваки круг, сем нултог, експерти су имали задатак да идентификоване ризике оцјене према Ликертовој скали оцјенама од 1 до 5, а према величини утицаја ризика на пројекат. Након првог круга анализиране се минималне и максималне оцјене, распони оцјена сваког ризика, као и стандардна девијација и коефицијент варијације.

У другом кругу рачунати су средња вриједност, те разлика средње вриједности, стандардна девијација и коефицијент варијације. Ови подаци се анализирају да би се провјерило постоји ли консензус експерата, односно да би у моделу остали само ризици који заиста имају утицај на процес грађења постројења за пречишћавање отпадних вода.

За прорачун постигнутог консензуса и закључивање истраживања неопходно је користити одређене статистичке мјере: медијана, мод, квартили, регресија, тежински коефицијенти итд. За дефинисање консензуса одабрана је метода прорачуна коефицијента варијације [1]

$$CV = \frac{STANDARDNA\ DEVIJACIJA}{SREDNJA\ VRIJEDNOST} \tag{1}$$

Висока вриједност коефицијента варијације (већа од 1) сугерише да се одговори експерата расипају у односу на средњу вриједност. Као контраст томе, када је мала вриједност коефицијента варијације, онда је и мало расипање око средње вриједности. Да би се измјерила стабилност одговора за неки ризик рачуна се апсолутна разлика у девијацијама за сваки ризик. Уколико су два круга одговора разматрана у истраживању, онда је поступак сљедећи:

$$\Delta\bar{\chi} = \bar{\chi}_{2.krug} - \bar{\chi}_{1.krug} \qquad (2)$$

Мала вриједност и близу 0 апсолутне разлике коефицијената варијације имплицира стабилност одговора и постизање консензуса међу експертима. Тада не постоји потреба за даљим круговима истраживања. За сваки мјеродавни параметар се рачуна коефицијент варијације да би се измјерио консензус. Према Дајанију [7] стабилност се разматра тако што се анализира апсолутна вриједност разлика између два круга. Уколико је та вриједност мала, онда не треба настављати истраживање, уколико јесте онда треба наставити истраживање. Суштина је да коефицијент варијације мора бити мањи у сљедећем кругу од прошлог. Разлика већа од 0.8 сматра се великом [7].

Коефицијент варијације је стандардизована мјера дисперзије и користан алат за упоређивање дистрибуција. Она представља број без димензија који се рачуна тако што се стандардна девијација подијели са средњом вриједношћу. Често се изражава као проценат. За Делфи метод се најчешће употребљава коефицијент варијације, као мјера за постизање консензуса. Упутство за коефицијент варијације дато је према [6].

**0<CV<=0.5** добро ниво консензуса, нема потреба за даљим круговима

Истраживање које је спроведено има све разлике између другог и првог круга које су негативне, а по апсолутној вриједности мање од 0.5. Самим тим закључује се да је постигнут консензус групе експерата, те да је други круг посљедњи круг истраживања. Усаглашеност мишљења експерата, имплицира да је истраживање заокружено и да се може креирати модел процјене ризика. Сваки ризик у моделу треба да добије свој тежински коефицијент. На основу коефицијента одређује се утицај на пројекат. Прорачун тежинских коефицијената за ризике рађен је на основу методе коју је [5]. креирао комбинујући AWM и AHP методу. Систем оцјењивања развијен код [5] пружа могућност да се у моделу рангирају ризици на основу значаја и утицаја на пројекат путем индикатора сигурности. Систем рангирања је усмјерен на сертификацију свих врста пројеката. Сертификација подразумијева идентификовање пројекта као изразито осјељивог на ризике или не. Ради лакшег тумачења резултата модела и његове ефикасније примјене у пракси, систем оцјењивања је нормализован што значи да његова укупна вриједност износи 100 кредита.

Тежински коефицијент се посматра као сопствена тежина ризика у односу на друге ризике из његове групе. На основу тога се ризици могу посматрати одвојено од групе. Одређене групе ризика због своје природе ризика и броја ризика имају велики групни тежински коефицијент. У укупном оцјењивању сваки ризик мора да има своју тежину и вриједност.

Тежински коефицијент за сваки ризик се рачуна у односу на остале ризике из његове групе. Да би се израчунали коефицијенти, за сваку групу ризика се посебно рачуна средња вриједност као мјера њеног утицаја на пројекат. Након овога, сваки ризик у групи добија специјалну вриједност базирану на средњој вриједности групе. Средња вриједност се рачуна на основу формуле:

$$X_f = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \qquad (3)$$

Xf - средња вриједност појединачног фактора

Xi - вриједност појединачног фактора оцијењеног од 1 до 5 у другој Делфи итерацији

n - број Делфи експерата

Пошто свака група има средњу вриједност, рачунају се тежински коефицијенти сваке групе. Сума свих тежинских коефицијената мора бити 100. У табели 1 се види приказ средњих вриједности за сваки ризик појединачно и за сваку групу ризика посебно. Сума свих средњих вриједности је 136. Овај број се добија зато што се ризици оцјењују према Ликертовој скали и не постоји могућност да се неком ризику да оцјена 0. Да би се лакше користио модел врши се свођење укуног броја кредита на 100. Кориштен је стандардни прорачун за проценте.

$$\omega_{gf} = \frac{X_{gf}}{\sum_{z=1}^{6} X_{gfz}} \bullet 100 \tag{4}$$

ω_gf – број кредита за посматрану групу фактора
Xgf – средња вриједност групе фактора
z – број група фактора (6 група ризика)
Да би се срачунао кредит за сваку групу користи се израз:

$$\omega_{f} = \frac{X_{fj}}{\sum_{j=1}^{k} X_{fj}} \bullet \omega_{gf} \tag{5}$$

ω_f – број кредита за посматрани фактор
Xfj – средња вриједност фактора j у посматраној групи
K - број фактора који припадају посматраној групи фактора
ω_gf – број фактора у посматраној групи фактора

**Табела 1:** Прорачун тежинских коефицијената

| **Група ризика** | **Група 1** | **Група 2** | **Група 3** | **Група 4** | **Група 5** | **Група 6** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| РИЗИК 1 | 3.30 | 4.14 | 3.67 | 4.12 | 3.72 | 3.99 | |
| РИЗИК 2 | 3.53 | 3.68 | 4.01 | 4.09 | 3.72 | 3.53 | |
| РИЗИК 3 | 3.86 | 3.32 | | | 3.28 | 3.89 | |
| РИЗИК 4 | 3.26 | 3.48 | | | 3.29 | 3.64 | |
| РИЗИК 5 | 3.58 | 3.34 | | | 3.81 | 3.60 | |
| РИЗИК 6 | 3.65 | | | | 3.78 | 3.78 | |
| РИЗИК 7 | 3.12 | | | | 3.97 | 3.22 | |
| РИЗИК 8 | 3.80 | | | | | 3.74 | |
| РИЗИК 9 | 4.05 | | | | | | |
| РИЗИК 10 | 4.10 | | | | | | |
| РИЗИК 11 | 3.58 | | | | | | |
| РИЗИК 12 | 3.96 | | | | | | |
| РИЗИК 13 | 3.18 | | | | | | |
| СУМА | 47 | 18 | 7.68 | 8.22 | 25.60 | 29.40 | 136 |
| СРЕДЊЕ ВРИЈЕДНОСТИ | 3.61 | 3.59 | 3.84 | 4.10 | 3.65 | 3.67 | 22.48 |

Тежински коефицијенти групе фактора су у исто вријеме сума тежинских коефицијената појединачних фактора који припадају посматраној групи. За сваку групу ризика прво се пронађе сума свих средњих вриједности, која се дијели са бројем ризика и добија се вриједност групе ризика појединачно. Тежински коефицијент групе добија се стандардним прорачуном процената.

$$G:P = 100:p \tag{6}$$

G - сума средњих вриједности свих група ризика
P - средња вриједност појединачне групе ризика
P - Проценат или тежински коефицијент
Након овог прорачуна, свака група ризика има свој тежински коефицијент, на основу кога се рачуна тежински коефицијент сваког ризика појединачно (Табела 2). Након прорачуна тежинских коефицијената сваки од ризика улази у модел са својим коефицијентом и на

основу специјално креираног упитника врши се прорачун тежинског коефицијента за сваки ризик и за појединачан пројекат постројења за пречишћавање отпадних вода.

**Табела 2:**Тежински коефицијенти за све групе појединачно

|  | **Сума** | **Средња вриједност** | **Проценат или тежински коефицијент** |
|---|---|---|---|
| 1. ПРАВНИ | 47 | 3.61 | 16.07 |
| 2. ФИНАНСИЈСКИ И ЕКОНОМСКИ | 18 | 3.59 | 15.98 |
| 3. ЛОГИСТИЧКИ | 7.68 | 3.84 | 17.07 |
| 4. ЕКОЛОШКИ | 8.21 | 4.10 | 18.26 |
| 5. МЕНАЏЕРСКИ | 25.6 | 3.65 | 16.25 |
| 6. ПРОЈЕКТАНТСКИ | 29.4 | 3.67 | 16.34 |
|  | 136 | 22.48 | 100.0 |

## 3. ЗАКЉУЧАК

У овом раду представљен је примјер једног рјешења за креирање модела процјене ризика. Овај модел који се анализира креиран је као резултат истраживања за потребе израде докторске дисертације. Користећи методе дескриптивне статистике, комбинујући квалитативно и квантитативно истраживање и користећи Делфи метод, креиран је јединствени модел прелиминарне процјене ризика за процес грађења постројења за пречишћавање отпадних вода. за пречишћавање отпадних вода. Модел се састоји од 37 ризика од којих сваки има тежински коефицијент из чега се може видјети његов значај у односу на групу ризика.

## 4. ЗАХВАЛНОСТ

Истраживање је спроведено у оквиру пројекта „Научна теоријска и експериментална истраживања и унапређење наставног процеса у области грађевинарства", који је развијен на Департману за грађевинарство и геодезију, Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду, Србија

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Kishan, P., Bhatt, R., Bhavsar, J. J. (2014): "A Study of Risk Factors Affecting Building Construction Projects", International Journal of Engineering, Research & Technology, 3(12), pp. 831–835, Dostupno na: https://www.ijert.org/a-study-of-riskfactorsaffecting-building-construction-projects

[2] ISO 21500 (2012) Guidance on Project Management. International Organization for Standardization.

[3] Лончар Драган: Управљање пројектима, презентације

[4] Топалић Марковић (2022): Модел прелиминарне процјене ризика за процес грађења постројења за пречишћавање отпадних вода, докторска дисертација, ФТН, Нови Сад

[5] Velkovski, T. (2019): Reference Rating Model for the Level of Implementation of the Occupational Safety and Health Systems", Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, PhD Thesis

[6] von der Gracht, H. A. (2012): Consensus measurement in Delphi studies: Review and implications for future quality assurance, Technological Forecasting and Social Change, 79(8), pp. 1525–1536, https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.013

[7] Yang Y.N. (2003): Stability and agreement criteria for the termination of Delphi studies, Paper prepared for the Annual Meeting of the American Educational Research Association (Chicago, IL, April 21-25)

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# УСПЈЕШНОСТ СТУДИРАЊА СТУДЕНАТА ГРАЂЕВИНАРСТВА

# STUDY SUCCESS OF CIVIL ENGINEERING STUDENTS

ЉУБИША ПРЕРАДОВИЋ[1], ЂОРЂЕ СТОЈИСАВЉЕВИЋ[2]

[1] Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет Универзитета у Бањој Луци,
ljubisa.preradovic@aggf.unibl.org
[2] Ђорђе Стојисављевић, Универзитетски рачунарски центар Универзитета у Бањој Луци,
djordje.stojisavljevic@unibl.org

---

***Резиме:*** *У раду су представљени и анализирани фактори који утичу при упису и завршетку студија првог циклуса кандидата на студијски програм Грађевинарство на Архитектонско-грађевинско-геодетском факултету Универзитета у Бањој Луци, који су уписани 2012, 2013, 2014. и 2015 године, те математички предмети на првој години студија, као додатни фактори који утичу на завршетак студија првог циклуса, закључно до почетка љетњег семестра 2022/23. године. Коришћењем data mining метода, генерисањем стабала одлучивања и припадајућих правила показано је да су полагања појединих математичких предмета на првој години у текућој академској години важан предиктор за завршетак студија.*

***Кључне речи:*** *Предиктори, стабло одлучивања, успјешност.*

***Abstract:*** *The paper presents and analyzes the factors that affect the enrollment and completion of the first cycle of studies of candidates for the Civil Engineering study program at the Faculty of Architecture, Civil Engineering and Geodesy of the University of Banja Luka, who were enrolled in 2012, 2013, 2014 and 2015, and mathematics subjects at in the first year of studies, as additional factors that affect the completion of the studies of the first cycle, until the beginning of the summer semester 2022/23. By using data mining methods, generating decision trees and associated rules, it was shown that the passing of certain mathematics subjects in the first year in the current academic year is an important predictor for the completion of studies.*

***Keywords:*** *Predictors, decision tree, success.*

---

## 1. УВОД

На првој години студија првог циклуса математички предмети јесу: Линеарна алгебра и аналитичка геометрија (ЛАиАГ), Диференцијални и интегрални рачун 1 (ДИР1) и Диференцијални и интегрални рачун 2 (ДИР2). Већина кандидата који упишу Студијски програм Грађевинарство на Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет Универзитета у Бањој Луци су из грађевинских школа и гимназија, а најбоље резултате на квалификационом испиту постижу ученици који су завршили гимназију [1]. Значај квалификационог испита за упис на Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет (АГГФ), као и веза између успјеха на квалификационом испиту и успјеха у полагању математичких предмета је анализиран у раду [2], док је утицај полагања математичких предмета у предвиђању академског успјеха студената грађевинарства анализиран у радовима [3, 4].

У раду су анализирана: три фактора који одређују упис кандидата на студиј: успјех у средњој школи, резултат квалификационог испита, укупан број освојених бодова; полагање математичких предмета током студирања; статус уписаних студената и завршетак студија првог циклуса, као и повезаност полагања појединих предмета и дипломирања. Додатном примјеном напреднијих техника (Data mining) могуће је додатно побољшати предикцију диломирања студената.

## 2. ОРГАНИЗАЦИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Током првог уписног рока 2012, 2013. и 2014. и уписних рокова 2015. год. на Студијском програму (СП) Грађевинарство уписано је 219 студената.

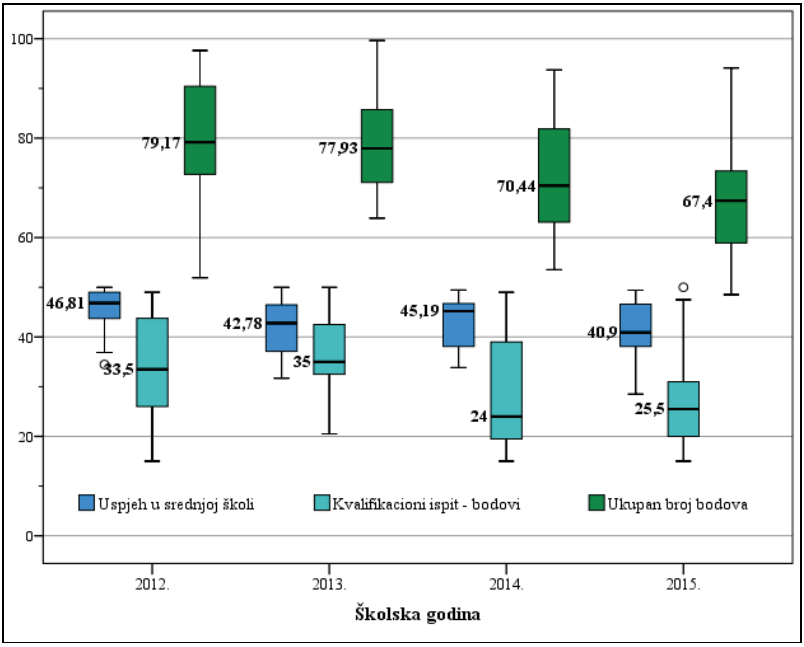
И успјех из средње школе и квалификациони испит се вреднује са по 50 бодова, а за полагање квалификационог испита потребно је остварити минимално 15 бодова. До уписа љетњег семестра 2022/23. год. дипломирало (завршило студиј првог циклуса) је 60 студената, 32 студента су још активна (али нису дипломирали), 70 студената имају „замрзнут статус“ или „препис“, а 32 студената се исписало, док је 25 студената без статуса.

При тестирању разлике појединих група података примјењиван је $\chi^2$ тест.

У истраживаном узорку непрекинуте варијабле немају нормалну дистрибуцију. При анализи и графичком представљењу података, примјени адекватних статистичких тестова (Kruskal Wallis и Mann-Whitney U test) и стабала класификације коришћен је аналитичко-статистички алат IBM SPSS Statistics, верзија 27 [5, 6]. Data mining метода и стабла класификације, који представљају најчешће коришћене статистичке технике у области генерисања правила из података, додатно су коришћене за побољшање предикције диломирања студената [7, 8].

## 3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Кандидата су током средњошколског образовања остварили солидан успјех (медијана је била од 40.9 /2015. год/ до 46.81 /2012. год/). Током квалификационог испита кандидати су остварили лошије резултате (медијана је била од 24 /2014. год/ до 35 /2013. год/). Укупан број бодова који су кандидати освојили се, из године у годину, константно смањивао (медијана је била: 79.17, 77.93, 70.44 и 67.4, респективно у односу на године уписа) – слика 1.



**Слика 1:** Успјех у средњој школи, бодови на квалификационом испиту и укупан број бодова

Примјеном Kruskal-Wallis-овог теста добијена је високо статистички значајна разлика у освојеним бодовима кандидата током квалификационог испита ($p = .001$) и укупно освојених бодова ($p = .002$) кандидата у односу на године одржавања пријемних испита.

Тестирајући међусобно по двије школске године, примјеном Mann-Whitney-евог теста:

- успјех кандидата током средњошколског образовања: добијена је високо статистички значајна разлика ($z = -2.738$, $p = .006$) кандидата који су завршили средњу школу 2012. и 2015. год, а статистички значајна разлика ($z = -2.169$, $p = .030$) кандидата који су завршили средњу школу 2012. и 2013. год;
- квалификациони испит: добијена је високо статистички значајна разлика ($z = -3.819$, $p = .00013$) кандидата који су завршили средњу школу 2013. и 2015. год, а статистички значајна разлика ($z = -2.088$, $p = .037$) кандидата који су завршили средњу школу 2012. и 2015. год, те ($z = -2.416$, $p = .016$) кандидата који су завршили средњу школу 2013. и 2014. год;
- укупан број бодова: добијена је високо статистички значајна разлика ($z = -2.808$, $p = .005$) кандидата који су завршили средњу школу 2012. и 2015. год, те ($z = -3.420$, $p = .001$) кандидата који су завршили средњу школа 2013. и 2015, а статистички значајна разлика ($z = -2.123$, $p = .034$) кандидата који су завршили средњу школу 2013. и 2014. год (табела 1).

**Табела 1**: Статистичка значајност постигнутих резултата током средњошколског образовања, квалификационог испита и укупног број освојених бодова кандидата

| Школске године | Успјех у средњој школи | Квалификациони испит | Укупан број бодова |
|---|---|---|---|
| 2012. i 2013. | z = -2.169, p = **.030*** | z = -.920, p = .358 | z = -.430, p = .667 |
| 2012. i 2014. | z = -1.149, p = .136 | z = -1.442, p = .149 | z = -1.806, p = .071 |
| 2012. i 2015. | z = -2.738, p = **.006**** | z = -2.088, p = **.037*** | z = -2.808, p = **.005**** |
| 2013. i 2014. | z = -.474, p = .635 | z = -2.416, p = **.016*** | z = -2.123, p = **.034*** |
| 2013. i 2015. | z = -.577, p = .564 | z = -3.819, p = **.00013**** | z = -3.420, p = **.001**** |
| 2014. i 2015. | z = -.731, p = .465 | z = -.629, p = .529 | z = -.833, p = .405 |

Просјечно трајање студија студената који су дипломирали је износило 2126, 2178, 2184 и 1871 дан, респективно према годинама уписа. Тестирајући, примјеном Kruskal-Wallis-овог теста, трајање студирања (дани) се статистички значајно не разликује ($p = 0.116$) у односу на школску годину уписа.

Студије првог циклуса је завршило 18 (94.74%) студената уписаних 2012, 24 (77.42%) уписаних 2013, 10 (58.82%) уписаних 2014. и осам (32%) студената уписаних 2015. год. (табела 2). Примјеном $\chi^2$ теста добијена је високо статистички значајна разлика ($\chi^2 = 21.8$, $p < 0.001$) броја студената који (ни)су завршили студиј првог циклуса у односу на годину уписа.

**Табела 2**: Завршетак студија првог циклуса

| Дипломирао_ла | Школска година | | | | Укупно |
|---|---|---|---|---|---|
| | 2012. | 2013. | 2014. | 2015. | |
| Да | 18 | 24 | 10 | 8 | 60 |
| Не | 1 | 7 | 7 | 17 | 32 |
| Укупно | 19 | 31 | 17 | 25 | 92 |

У текућој школској години предмет ЛАиАГ положио је 81 студент од којих је 59 (67.9%) дипломирало; предмет ДИР1 положило је 70 од којих је 55 (78.57%) дипломирало; а предмет предмет ДИР2 положило је 28 од којих је 26 (92.86%) дипломирало. Током наредне школске године предмет ЛАиАГ положило је пет, од којих је једно (20%) дипломирало; предмет ДИР1 положило је 13 од којих је петоро (38.46%) дипломирало; а предмет предмет ДИР2 положило је 35 од којих је 28 (80%) дипломирало. Додатном анализом (праћењем повезаности полагања по два или сва три математичка предмета који студенти изучавају током прве године студија) резултати показују да студенти успјешно заврше студије ако положе бар два предмета током текуће године или бар један током текуће, а други или и други и трећи предмет током наредне или након двије године (табела 3).

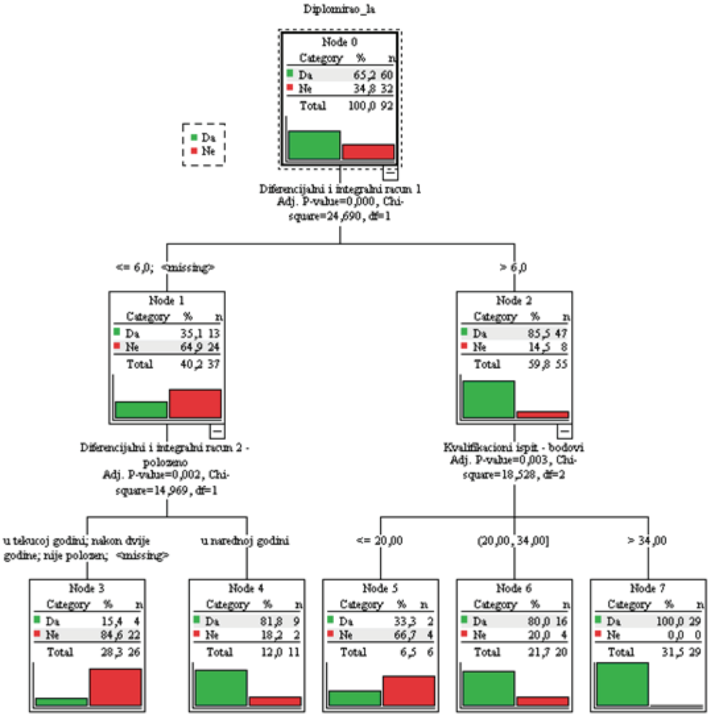
**Табела 3**: Повезаност полагања појединих предмета и дипломирања

| Предмет (и) | Положило у текућој години | Дипломирало | Положило у наредној години | Дипломирало | Положило након двије године | Дипломирало |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **ЛАиАГ** | 81 | 59 (67,9%) | 5 | 1 (20%) | 1 | |
| **ДИР1** | 70 | 55 (78.57%) | 13 | 5 (38.46%) | 4 | |
| **ДИР2** | 28 | 26 (92.86%) | 35 | 28 (80%) | 23 | 6 (26.09%) |
| **ЛАиАГ** и **ДИР1** | 54 | 54 | 6* | 6 | | |
| **ЛАиАГ** и **ДИР2** | 26 | 26 | 28* | 28 | 6** | 6 |
| **DIR1** и **ДИР2** | 26 | 26 | 28* | 28 | 6** | 6 |
| **ЛАиАГ**, **ДИР1** и **ДИР2** | 26 | 26 | 28* | 28 | 6** | 6 |

* бар један од предмета је положен у наредној години

** бар један од предмета је положен након двије године

Примјеном напреднијих техника (Data mining) могуће је додатно побољшати предикцију диломирања студената. Као примјер на слици xx представљено је класификационо стабло.



**Слика 2:** Примјер класификационог стабла

Наводи се, као примјер, генерисано правило за седми чвор:

```
/* Node 7 */.
IF (Diferencijalni i integralni racun 1 NOT MISSING AND  (Diferencijalni i integralni racun 1 > 6))  AND
(Kvalifikacioni ispit - bodovi IS MISSING  OR (Kvalifikacioni ispit - bodovi > 34))
THEN
Node = 7
Prediction = 1
Probability = 1.000000
```

Може се уочити да су свих 29 студената који су предмет *Линеарна алгебра и аналитичка геометрија* положили минималном оцјеном седам (7) и који су током квалификационог испита освојили више од 34 бода и дипломирали.

## 4. ДИСКУСИЈА

Избор кандидата за упис на студиј је веома комплексан и захтијева интензиван рад са потенцијалним кандидатима током средњошколског образовања. Од 2012. до 2014. год. спровођена су истраживања [9] у вези полагања квалификационих испита. АГГФ већ 10 година спроводи радионице у средњим школама и врши припремну наставу. Припремна настава се изводити кроз 20 часова (пет седмица) онлајн, путем Google Meet и Google Classroom апликација [10]. Значај припремне наставе је препознат и код факултета из окружења који организују припремну наставу и / или омогућују кандидатима да користе ријешене задатке са пријемног испита из математике [11-15]. Слично је и на другим факултетима.

Уз добру селекцију кандидата при упису потребно је истражити и утицај полагања појединих испита на успјешност завршетка студија. За предвиђање резултата користе се напредније техника. Рад [16] се бави стварањем модела за предвиђање успјешности студената током студирања примјеном рударења података (енгл. Data mining) и анализом фактора који утичу на постигнути степен успјешности. Испитане су три методе рударења података: логистичка регресија, дрво одлучивања и неуронске мреже. Студија [17] има за циљ да пружи корак по корак сет смјерница за наставнике који су спремни да примијене технике рударења података како би предвидјели успјех ученика. Kehinde и сар. [18] упућују на потенцијал вјештачких неуронских мрежа гдје помоћу вишеслојних неуронских мрежа без повратних веза, на основу демографских података студената, успјешно стварају модел који с тачношћу од 92% предвиђају коначни исход студената. У раду [19] анализирани су подаци о успјешности студирања и полагању испита на првој години преддипломског студија за осам генерација студената. Циљеви истраживања били су: направити предиктивни модел који ће омогућити идентификацију студената за које постоји велика вјеројатноћа да неће остварити 30 ECTS бодова током академске године и пружити студентима информацију о вјероватноћи полагања појединог испита, односно постизања циљаног броја ECTS бодова на крају академске године. За моделирање здружене дистрибуције кориштена је Bayesova-ова мрежа.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Током средњошколског образовања кандидата су остварили солидан успјех (током свих година уписа просјечан број бодова је био већи од 40), док су кандидати током квалификационог испита остварили лошије резултате (медијана је била од 24 до 35 бодова). Укупан број бодова који су кандидати освојили се, из године у годину, константно смањивао (од 79.17 до 67.4 бода).

Полагање појединих математичких предмета током текуће године студија указује да је успјешност дипломирања од 67.9% до 92.86% (предмет ДИР2 је најбољи предиктор). Полагањем било која два или сва три предмета током текуће године, као и каснијим полагањем, студенти су и дипломирали.

Генерисањем правила могу се добити још побољшања и проширења предвиђања.

Добијена правила би се могла примијенити и на сљедеће генерације студената.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Прерадовић, Љ., Косић-Јеремић, С. (2015). Ефекти припремне наставе и анализа успјеха студената у полагању квалификацијског испита – приказ случаја студената грађевинарства. *Технички вјесник 22 (3), 785-791.* https://doi.org/10.17559/TV-20140513114019

[2] Прерадовић, Љ., Косић-Јеремић, С. (2019). Повезаност успјеха студената геодезије током студија са квалификационим испитом и завршеном средњом школом. *XLVI Симпозијум о операционим истраживањима, Зборник радова*, 586-591

[3] Прерадовић, Љ., Максимовић, С., Косић-Јеремић, С. (2021). Предиктори академског успјеха студената грађевинарства, *XLVIII Симпозијум о операционим истраживањима, Зборник радова*, 501-506.

[4] Прерадовић, Љ., Максимовић, С., Косић-Јеремић, С. и Гајић С. (2022). Примјена стабала одлучивања у предвиђању академског успјеха студената градитељства са посебним освртом на математичке предмете. *21st International Symposium INFOTEH-JAHORINA, 16-18 March 2022*, 82-87.

[5] Прерадовић, Љ., Ђајић, В. (2011). Аналитичко-статистичке технике у савременим истраживањима, Архитектонско-грађевински факултет

[6] Јакшић, С., Максимовић, С. (2020). Вероватноћа и статистика, теоријске основе и решени примери, Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет

[7] Rokach, L., Maimon, O. (2015). Data mining with decision trees: Theory and Applications. *2nd Edition; World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapore*, 77-79.

[8] Quinlan, J. R. (1986). Induction of decision trees. *Machine Learning. 1*: 81– 106, doi:10.1007/BF00116251. S2CID 189902138.

[9] Прерадовић, Љ., Додик, М., Антуновић, Б., Косић-Јеремић С., Боројевић, Д. (2014). Компаративна анализа постигнутих резултата квалификационих испита на АГГФ-у у периоду 2012 - 2014. године, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет

[10] https://aggf.unibl.org/sr/vesti/2023/05/obavjestenje-pripremna-nastava, посјећено 24.5.2023.

[11] https://www.grf.bg.ac.rs/upisise/pi, посјећено 24.5.2023.

[12] http://www.gf.uns.ac.rs/upis.html, посјећено 24.5.2023.

[13] GAF - Zbirka zadataka iz MATEMATIKE za prijemni ispit.pdf, посјећено 24.5.2023.

[14] http://www.ftn.uns.ac.rs/n843148626/pripremna-nastava-iz-matematike, посјећено 24.5.2023.

[15] УПИС 2023 (mfkv.rs), посјећено 24.5.2023.

[16] Simeunovic, V., Preradović, Lj. (2014). Using Data Mining to Predic Success in Studying. *Croatian Journal of Education, 16* (2), 491-523. Преузето с https://hrcak.srce.hr/125033 дана 25. 5. 2023.

[17] Alyahyan, E., Düştegör, D. (2020). Predicting academic success in higher education: literature review and best practices. *Int J Educ Technol High Educ* 17, 3 https://doi.org/10.1186/s41239-020-0177-7

[18] Kehinde, J. A., Adeniyi, E. A., Ogundokun, O. R., Gupta, H., Misra, S. (2021), Prediction of Students' performance with Artificial Neural Network using Demographic Traits, Department of Computer Science, Landmark University Omu Aran, Nigeria. Dostupno na: https://arxiv.org/abs/2108.07717

[19] Šimić, D., Gusić, J. (2020). Predikcija uspjeha u studiranju primjenom Bayesovih mreža. Proceedings of MIPRO 2020. 43rd International Conference.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА ФАЗИ АХП МЕТОДЕ ЗА ИЗБОР ТЕХНОЛОГИЈЕ ИЗГРАДЊЕ КАНАЛИЗАЦИОНЕ ЦРПНЕ СТАНИЦЕ МАКИШ

# APPLICATION OF FUZZY AHP METHOD FOR SELECTION OF CONSTRUCTION TECHNOLOGY FOR SEWAGE PUMPING STATION MAKIS

НАТАША ПРАШЧЕВИЋ[1], ИВАН МИЛОЈКОВИЋ[2]

[1] Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Београд, natasa@grf.bg.ac.rs
[2] Институт за водопривреду 'Јарослав Черни', Београд, ivan.milojkovic@jcerni.rs

---

***Резиме:*** *У раду се разматра примена фази АХП методе са троугластим фази бројевима приликом избора технологије изградње Канализационе црпне станице Макиш. Анализиране су четири варијанте (алтернативе) чије рангирање је извршено у односу на шест критеријума. Фази АХП метода базира се на одређивању фази сопствених вредности и сопствених вектора.*

***Кључне речи:*** *троугласти фази број, фази АХП метод, атмосферске отпадне воде.*

***Abstract:*** *The paper discusses the application of the fuzzy AHP method with triangular fuzzy numbers during the selection of construction technology for the Makiš sewage pumping station. Four variants (alternatives) were analyzed and ranked according to six criteria. The fuzzy AHP method is based on the determination of fuzzy eigenvalues and eigenvectors.*

***Keywords:*** *Triangular fuzzy number, Fuzzy AHP method, atmospheric wastewater.*

---

## 1. УВОД

У традиционалној формулацији проблема вишекритеријумске оптимизације оцене експерата су представљене као егзактни бројеви. Међутим, у свакодневној пракси, подаци могу бити непрецизни или доносиоци одлука нису у могућности да своје закључке представе у виду нумеричких вредности. Такође, поједини критеријуми могу бити квалитативне или субјективне природе, због чега доносиоци одлука нису у могућности да своје преференције изразе помоћу тачних бројева. Због тога су конвенционалне методе вишекритеријумске оптимизације мање ефикасне у ситуацијама у којима постоји непрецизна или нејасна лингвистичка процена. АХП метода је једна од најчешће коришћених техника за структурирање и анализирање сложених система и доношење одлука у ситуацији када постоји већи број конфликтних критеријума. Фази АХП метод се може посматрати као унапређени метод настао из традиционалног АХП метода.

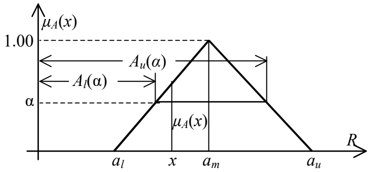
Бројни истраживачи су користили технике вишекритеријумског одлучивања за решавање практичних проблема. Пан је предложио модел за избор одговарајуће методе конструкције моста заснован на фази АХП са троугластим и трапезоидним расплинутим бројевима [9]. Јасковски и др. су предложили проширени фази АХП метод за процену тежине критеријума за избор извођача [6]. Тајлан и др. су користили фази АХП и фази ТОПСИС методе за одабир грађевинских пројеката и процену ризика [11]. Ибрахим и др. су комбиновали фази АХП методу и ГИС за избор најбоље локације станице за прикупљање отпадних вода [4]. Хо и др. су коришћењем фази АХП процеса извршили синтезу процеса пречишћавања отпадних вода и избора добављача [3]. Чаисар и Гарг су применили АХП методу за избор оптималне технологије пречишћања отпадних вода [1]. Ојанг и др. су интегрисали фази АХП процес са приступом вишедимензионалног скалирања приликом разматрања проблема природног третирања отпадних вода [8].

Преглед литературе приказује да су бројни аутори успешно користили АХП и фази АХП методу за решавање практичних проблема. У овом раду је предложена примена фази АХП методе са троугластим расплинутим бројевима. Поступак се базира на одређивању сопствених вредности које се добијају коришћењем очекиване вредности расплинутих бројева и њихових производа. Добијене сопствене вредности и сопствени вектори се примењују у даљем поступку за рангирање алтернатива. Предложени поступак је коришћен у студији случаја за избор технологије изградње Канализационе црпне станице Макиш.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА

Аналитички хијерархијски процес (АХП) је техника која се користи у области вишекритеријумског одлучивања коју је предложио Сати [11]. Заснована је на развијању сложеног проблема у хијерархију, где је циљ на врху, а критеријуми, подкритерији и алтернативе се формирају на више хијерархијских нивоа. Доносилац одлуке упоређује елементе у паровима на сваком хијерархијском нивоу у односу на елемент на вишем нивоу, користећи такозвану Сатијеву скалу. Пошто су неки критеријуми квалитативне природе, доносиоци одлука их не могу једноставно изразити. Због тога, егзактни бројеви нису прикладни за упоредне вредности у паровима. Да би се превазишао овај недостатак, предложена је фази АХП метода.

У овом раду се користи троугласти расплинути број (Слика 1)



**Слика 1.** Троугласти фази број $\widetilde{A}$

Троугласти фази број се обично описује са три карактеристичне нумеричке вредности: $a_l$, $a_m$ и $a_u$ тј. $\widetilde{A}=\left(a_l, a_m, a_u\right)$. Реципрочни фази број $\widetilde{A}^{-1}$ фази броја $\widetilde{A}$ је $\widetilde{A}^{-1}=(1/a_u, 1/a_m, 1/a_l)$.

Фази АХП метода која се користи у овом раду обавља се у следећим корацима.

***Корак 1***. Дефинисати проблем, општи циљ који треба постићи, критеријуме и алтернативе. Дефинисати хијерархијску структуру од највишег нивоа, преко средњег нивоа, који садржи критеријуме и подкритеријуме, до најнижег нивоа, који се односи на алтернативе.

***Корак 2***. Формулисати реципрочну фази матрицу поређења за критеријуме $C_1, C_2, \ldots, C_n$ процењујући вредности приоритета као фази бројеве $\tilde{c}_{ij}=(c_{ij,l}, c_{ij,m}, c_{ij,u})$ ($i=1,2,\ldots,n$; $j=1,2,\ldots,n$). Фази матрице поређења за сваки од критеријума представити помоћу три матрица $\mathbf{C}_l$, $\mathbf{C}_m$ и $\mathbf{C}_u$ (1) тј.

$$\mathbf{C}_l=\begin{bmatrix} 1 & c_{12,l} & \cdots & c_{1k,l} \\ \dfrac{1}{c_{12,u}} & 1 & \cdots & c_{2k,l} \\ . & . & \cdots & . \\ \dfrac{1}{c_{1k,u}} & \dfrac{1}{c_{2k,u}} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \mathbf{C}_m=\begin{bmatrix} 1 & c_{12,m} & \cdots & c_{1k,m} \\ \dfrac{1}{c_{12,m}} & 1 & \cdots & c_{2k,m} \\ . & . & \cdots & . \\ \dfrac{1}{c_{1k,m}} & \dfrac{1}{c_{2k,m}} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \mathbf{C}_u=\begin{bmatrix} 1 & c_{12,u} & \cdots & c_{1k,u} \\ \dfrac{1}{c_{12,l}} & 1 & \cdots & c_{2k,u} \\ . & . & \cdots & . \\ \dfrac{1}{c_{1k,l}} & \dfrac{1}{c_{2k,l}} & \cdots & 1 \end{bmatrix}. \qquad (1)$$

Сатијев АХП метод се базира на одређивању сопствених вредности и сопствених вектора на различитим нивоиома хијерархије. То значи да у случају фази АХП метода треба решити систем хомогених фази линеарних једначина:

$$\widetilde{\mathbf{A}} \otimes \widetilde{\mathbf{w}} = \widetilde{\lambda}_l \otimes \widetilde{\mathbf{w}} \qquad (2)$$

Решење овог проблема заснива се на срачунавању очекиваних вредности фази бројева и њихових производа:

$$EV(\widetilde{A}) = (a_l + 2a_m + a_u)/4. \qquad EV\left(\widetilde{A} \otimes \widetilde{B}\right) = \frac{1}{12}[(2a_l + a_m)b_l + (a_l + 4a_m + a_u)b_m + (a_m + 2a_u)b_u] \tag{3}$$

Систем фази линеарних једначина (2) може се записати у следећем облику:

$$\widetilde{a}_{i1} \otimes \widetilde{w}_1 \oplus \widetilde{a}_{i2} \otimes \widetilde{w}_2 \oplus \ldots \oplus \widetilde{a}_{in} \otimes \widetilde{w}_n = \widetilde{\lambda} \otimes \widetilde{w}_i, \quad i = 1,2,\ldots n \tag{4}$$

Очекивана вредност производа фази бројева на основу (3) је:

$$EV(\widetilde{a}_{ij} \otimes \widetilde{w}_{ij}) = \frac{1}{12}[(2a_{ij,l} + a_{ij,m})w_{j,l} + (a_{ij,l} + 4a_{ij,m} + a_{ij,u})w_{j,m} + (a_{ij,m} + 2a_{ij,u})w_{j,u}]$$

$$EV(\widetilde{\lambda} \otimes \widetilde{w}_i) = \frac{1}{12}[(2\lambda_l + \lambda_m)w_{i,l} + (\lambda_l + 4\lambda_m + \lambda_u)w_{i,m} + (\lambda_m + 2\lambda_u)w_{i,u}] \quad i,j = 1,2,\ldots,k \tag{5}$$

Увођењем формула (5) у систем хомогених фази линеарних једначина (2) добија се:

$$\overline{\mathbf{A}}_l \mathbf{w}_l + \overline{\mathbf{A}}_m \mathbf{w}_m + \overline{\mathbf{A}}_u \mathbf{w}_u - \overline{\lambda}_l \mathbf{w}_l - \overline{\lambda}_m \mathbf{w}_m - \overline{\lambda}_u \mathbf{w}_u = \mathbf{0}, \tag{6}$$

где је:

$$\overline{\mathbf{A}}_l = 2\mathbf{A}_l + \mathbf{A}_m, \quad \overline{\mathbf{A}}_m = \mathbf{A}_l + 4\mathbf{A}_m + \mathbf{A}_u, \quad \overline{\mathbf{A}}_u = \mathbf{A}_m + 2\mathbf{A}_u$$

$$\overline{\lambda}_l = 2\lambda_l + \lambda_m, \quad \overline{\lambda}_m = \lambda_l + 4\lambda_m + \lambda_u, \quad \overline{\lambda}_u = \lambda_m + 2\lambda_u$$

$$\mathbf{w}_l = [w_{1,l}, w_{2,l}, \ldots, w_{n,l}]^T, \ \mathbf{w}_m = [w_{1,m}, w_{2,m}, \ldots, w_{n,m}]^T, \ \mathbf{w}_u = [w_{1,u}, w_{2,u}, \ldots, w_{n,u}]^T$$

Пошто су све вредности у овим једначинама позитивне, могуће је поделити систем једначина (6) на три система, од којих сваки представља посебан проблем сопствених вредности:

$$\overline{\mathbf{A}}_l \mathbf{w}_l = \overline{\boldsymbol{\lambda}}_l \mathbf{w}_l, \ \overline{\mathbf{A}}_m \mathbf{w}_m = \overline{\boldsymbol{\lambda}}_m \mathbf{w}_m, \ \overline{\mathbf{A}}_u \mathbf{w}_u = \overline{\boldsymbol{\lambda}}_u \mathbf{w}_u.$$

На описани начин решити фази проблем сопствених вредности $\widetilde{\mathbf{C}} \otimes \widetilde{\mathbf{w}} = \widetilde{\lambda}_l \otimes \widetilde{\mathbf{w}}$ и одредити фази сопствене вредности $\widetilde{\lambda} = (\lambda_l, \lambda_m, \lambda_u)$ и одговарајуће фази сопствене векторе $\widetilde{\mathbf{w}} = (w_l, w_m, w_u)$ тј. векторе приоритета.

***Корак 3***. Формулисати фази матрице поређења сваког од алтернативних решења у односу на сваки критеријум. Према поступку описаном у другом кораку одредити јединствене вредности фази проблема

$$\tilde{\mathbf{A}}^{(j)} \otimes \tilde{\mathbf{p}}^{(j)} = \tilde{\lambda}^{(j)} \otimes \tilde{\mathbf{p}}^{(j)}, \ j = 1,2,\ldots,m;$$

***Корак 4***: Формулисати фази матрицу $\widetilde{\mathbf{P}}$ која садржи нормализоване векторе приоритета Множењем ових матрица са добијеним векторима приоритета критеријума, који су срачунати у кораку 2, одредити глобалне векторе приоритета

$$\mathbf{g}_l = \mathbf{P}_l \overline{\mathbf{w}}_l = \begin{bmatrix} g_{1,l} & g_{2,l} & \cdots & g_{m,l} \end{bmatrix}^T \mathbf{g}_m = \mathbf{P}_m \overline{\mathbf{w}}_m = \begin{bmatrix} g_{1,m} & g_{2,m} & \cdots & g_{m,m} \end{bmatrix}^T . \mathbf{g}_u = \mathbf{P}_u \overline{\mathbf{w}}_u = \begin{bmatrix} g_{1,u} & g_{2,u} & \cdots & g_{m,u} \end{bmatrix}^T .$$

Ови вектори формирају фази матрицу глобалних приоритета $\widetilde{\mathbf{G}}$ алтернатива $A_1, A_2, \ldots, A_m$.

***Корак 5***: Извршити рангирање алтернатива према њиховим глобалним приоритетима.

## 3. СТУДИЈА СЛУЧАЈА

Описани метод примењен је приликом избора оптималне технологије изградње Канализационе црпне станице Макиш. Разматрана су четири алтернативна решења третмана атмосферских вода за комплекс Макиш, цевоводи и шахтови око третмана и пумпне станице [5]. Том приликом анализирало се пројектовање и извођење објекта пумпне станице (ПС) и цевовода од пумпне станице до реципијента – канал Стругара. Објекат пумпне станице је правоугаоне основе, димензија 5.4 x 10.9 m укупне висине 7.75 m. Укопан је до коте 65.05 mnm, фундиран у слоју песка и шљунка.

Разликују се четири варијанте (алтернативе) пројектовања и изградње пумпне станице:

- Варијанта 1: пумпна станица се изводи у отвореном ископу са изливом под правим углом у односу на осу канала;
- Варијанта 2: пумпна станица се изводи у отвореном ископу са изливом под углом у односу на осу канала;
- Варијанта 3: пумпна станица се изводи као отворен кесон – бунарски са изливом под правим углом у односу на осу канала;
- Варијанта 4: пумпна станица се изводи као отворен кесон – бунарски са изливом под углом у односу на осу канала.

Алтернативе се вреднују на основу следећих критеријума:

- К1: Утицај извођења ископа на постојеће објекте: подразумева величину и врсту ископа. Тежи се ка што мањем ископу изнад нивоа подземних вода или технологији као што је бунарско извођење где није потребна употреба подграда.
- К2: Утицај на постојеће инфраструктурне водове: подразумева проблеме са укрштањем и измештањем постојећих водова што у посматраном систему грађевина и опреме представља изузетан проблем. Поред укрштања са магистралним водоводним цевоводом Ф1500, чија је намена снабдевање града Београда пијаћом водом, ту је и спољни сервисни прстен фабрике за производњу пијаће воде Макиш Ф500 чије оштећење и прекид рада проузрокује и прекид рада комплетне фабрике Макиш и прекид водоснабдевања потрошача на подручју града Београда.
- К3: Утицај на заузетост грађевинске парцеле ископом: радови се изводе у близини објеката за водоснабдевање од републичког значаја, па је пожељно што мање ометати садржаје у посматраној I зони санитарне заштите.
- К4: Утицај грађевинских радова на рад предметног постројења Макиш: подразумева тежњу ка што мањем ометању предметног постројења при допремању грађевинског материјала и опреме као и при раду грађевинских машина на изградњи предметних канализационих цевовода и канализационе пумпне станице.
- К5: Утицај подземних вода на извођење: може бити знатан због близине реке Саве а ниво подземне воде на локацији је у директној зависности од нивоа реке Саве.
- К6: Утицај на тежину објекта: за бунарско извођење потребна је већа тежина конструкције како би при сукцесивном ископу могла да буде постављена на пројектовану дубину. То подразумева већу количину уграђеног бетона и арматуре, што поскупљује извођење и отежава достављање грађевинског материјала.

За дефинисани проблем формирана је хијерархија одлучивања.

Фази матрице међусобног поређења сваке од алтернатива са критеријумима су:

$$\widetilde{\mathbf{A}}^{(1)}=\begin{bmatrix} (1,1,1) & (1,1.5,2) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) \\ (1,\frac{1}{1.5},\frac{1}{2}) & (1,1,1) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) \\ (8.5,9,9.5) & (8.5,9,9.5) & (1,1,1) & (1,1.5,2) \\ (8.5,9,9.5) & (8.5,9,9.5) & (1,\frac{1}{1.5},\frac{1}{2}) & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad \widetilde{\mathbf{A}}^{(2)}=\begin{bmatrix} (1,1,1) & (1,1.5,2) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) \\ (1,\frac{1}{1.5},\frac{1}{2}) & (1,1,1) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) \\ (8.5,9,9.5) & (8.5,9,9.5) & (1,1,1) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) \\ (8.5,9,9.5) & (8.5,9,9.5) & (8.5,9,9.5) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

$$\widetilde{\mathbf{A}}^{(3)}=\begin{bmatrix} (1,1,1) & (2,2.5,3) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) \\ (\frac{1}{3},\frac{1}{2.5},\frac{1}{2}) & (1,1,1) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) \\ (8.5,9,9.5) & (8.5,9,9.5) & (1,1,1) & (\frac{1}{4.5},\frac{1}{4},\frac{1}{3.5}) \\ (8.5,9,9.5) & (8.5,9,9.5) & (3.5,4,4.5) & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad \widetilde{\mathbf{A}}^{(4)}=\begin{bmatrix} (1,1,1) & (2,2.5,3) & (\frac{1}{6.5},\frac{1}{6},\frac{1}{5.5}) & (\frac{1}{6.5},\frac{1}{6},\frac{1}{5.5}) \\ (\frac{1}{3},\frac{1}{2.5},\frac{1}{2}) & (1,1,1) & (\frac{1}{6.5},\frac{1}{6},\frac{1}{5.5}) & (\frac{1}{6.5},\frac{1}{6},\frac{1}{5.5}) \\ (5.5,6,6.5) & (5.5,6,6.5) & (1,1,1) & (\frac{1}{6.5},\frac{1}{6},\frac{1}{5.5}) \\ (5.5,6,6.5) & (5.5,6,6.5) & (5.5,6,6.5) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

$$\tilde{\mathbf{A}}^{(5)}=\begin{bmatrix} (1,1,1) & (0.5,1,1.5) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) \\ (\frac{1}{1.5},1,\frac{1}{0.5}) & (1,1,1) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) & (\frac{1}{9.5},\frac{1}{9},\frac{1}{8.5}) \\ (8.5,9,9.5) & (8.5,9,9.5) & (1,1,1) & (1,1.5,2) \\ (8.5,9,9.5) & (8.5,9,9.5) & (\frac{1}{2},\frac{1}{1.5},1) & (1,1,1) \end{bmatrix} \quad \tilde{\mathbf{A}}^{(6)}=\begin{bmatrix} (1,1,1) & (1,1,1) & (5,5.5,6) & (5,5.5,6) \\ (1,1,1) & (1,1,1) & (5,5.5,6) & (5,5.5,6) \\ (\frac{1}{6},\frac{1}{5.5},\frac{1}{5}) & (\frac{1}{6},\frac{1}{5.5},\frac{1}{5}) & (1,1,1) & (1,1.5,2 \\ (\frac{1}{6},\frac{1}{5.5},\frac{1}{5}) & (\frac{1}{6},\frac{1}{5.5},\frac{1}{5}) & (\frac{1}{2},\frac{1}{1.5},1) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

Фази матрица међусобног поређења критеријума $\tilde{\mathbf{C}}$ и вектор тежина $\tilde{w}$ су:

$$C=\begin{bmatrix} 1 & (4,4.5,5) & (5,5.5,6) & (2,2.5,3) & (\frac{1}{8.5},\frac{1}{8},\frac{1}{7.5}) & (0.5,1,1.5) \\ (\frac{1}{5},\frac{1}{4.5},\frac{1}{4}) & 1 & (1,1.5,2) & (6,6.5,7) & (7,7.5,8) & (4,4.5,5) \\ (\frac{1}{6},\frac{1}{5.5},\frac{1}{5}) & (\frac{1}{2},\frac{1}{1.5},1) & 1 & (5,5.5,6) & (1,1.5,2) & (8,8.5,9) \\ (\frac{1}{3},\frac{1}{2.5},\frac{1}{2}) & (\frac{1}{7},\frac{1}{6.5},\frac{1}{6}) & (\frac{1}{6},\frac{1}{5.5},\frac{1}{5}) & 1 & (6,6.5,7) & (5,5.5,6) \\ (7.5,8,8.5) & (\frac{1}{8},\frac{1}{7.5},\frac{1}{7}) & (\frac{1}{2},\frac{1}{1.5},1) & (\frac{1}{7},\frac{1}{6.5},\frac{1}{6}) & 1 & (8,8.5,9) \\ (\frac{1}{1.5},1,\frac{1}{0.5}) & (\frac{1}{5},\frac{1}{4.5},\frac{1}{4}) & (\frac{1}{9},\frac{1}{8.5},\frac{1}{8}) & (\frac{1}{6},\frac{1}{5.5},\frac{1}{5}) & (\frac{1}{9},\frac{1}{8.5},\frac{1}{8}) & 1 \end{bmatrix} \quad w=\begin{bmatrix} (0.195,0.217,0.244) \\ (0.234,0.253,0.278) \\ (0.139,0.159,0.183) \\ (0.133,0.143,0.157) \\ (0.179,0.195,0.216) \\ (0.029,0.032,0.039) \end{bmatrix}$$

Фази матрица приоритета $\tilde{\mathbf{P}}$ која садржи тежинске коефицијенте алтернатива за сваки критеријум је:

$$P=\begin{bmatrix} (0.049,0.055,0.062) & (0.038,0.042,0.048) & (0.052,0.057,0.063) & (0.069,0.077,0.085) & (0.049,0.050,0.057) & (0.391,0.0423,0.491) \\ (0.041,0.045,0.051) & (0.033,0.036,0.040) & (0.035,0.037,0.040) & (0.046,0.050,0.054) & (0.049,0.050,0.057) & (0.391,0.423,0.491) \\ (0.437,0.494,0.559) & (0.196,0.212,0.232) & (0.280,0.298,0.318) & (0.225,0.244,0.265) & (0.454,0.493,0.564) & (0.074,0.084,0.098) \\ (0.369,0.406,0.458) & (0.667,0.709,0.760) & (0.564,0.607,0.653) & (0.564,0.629,0.678) & (0.385,0.406,0.463) & (0.063,0.069,0.080) \end{bmatrix}$$

Вектор укупних тежинских коефицијената $\tilde{g}$ добијен је множењем фази матрице приоритета $\tilde{\mathbf{P}}$ и вектора тежинских коефицијената критеријума $\tilde{w}$:

**Табела 1:** Вектор укупних тежинских коефицијената

| **Алтер.** | $\tilde{g}$ | **Очекивана вр.** | **Станд. дев.** | **Коеф. вар.** |
|---|---|---|---|---|
| A1 | (0.055,0.066,0.085) | 0.068 | 0.005 | 0.071 |
| A2 | (0.047,0.055,0.071) | 0.057 | 0.004 | 0.068 |
| A3 | (0.284,0.342,0.426) | 0.349 | 0.023 | 0.065 |
| A4 | (0.455,0.536,0.652) | 0.549 | 0.031 | 0.058 |

Пошто су укупне тежине троугласти фази бројеви, њихово рангирање се може извршити према генерализованој фази средњој вредности, односно очекиваној вредности (7) и генерализованој фази распрострањености, односно стандардној девијацији (8)

$$g_{i,e}=(g_{i,l}+2g_{i,m}+g_{i,u})/4 \quad i=1,2..m \tag{7}$$

$$\sigma=[\frac{1}{80}(3g_{i,l}^2+4g_{i,m}^2+3g_{i,u}^2+4g_{i,l}g_{i,m} \quad 2g_{i,l}g_{i,u} \quad 4g_{i,m}g_{i,u})]^{1/2}, \;\; i=1,.,m. \tag{8}$$

Боље је рангиран расплинут број са вишом очекиваном вредношћу и мањом стандардном девијацијом [7]. То значи да је најбоље рангирана алтернатива A4, а затим алтернативе A3, A1 и A2. Рангирање расплинутих бројева може се извршити и према коефицијенту варијације [2]. Фази број са нижим коефицијентом варијације боље се рангира од броја са већим коефицијентом варијације. У том случају, алтернатива A4 је поново најбоље рангирана, а затим опет следе алтернативе A3, A1 и A2.

Резултат ове оптимизације је веома добар пошто је предложена Алтернатива 4 усвојена као оптимално решење. Овом алтернативом предвиђено је да се пумпна станица изводи као отворен кесон – бунарски са изливом под углом у односу на осу канала, што у потпуности задовољава захтеве наручиоца. Бунарском методом извођења пумпне станице се највише могуће избегава интеракција са околним цевоводима, чија је намена снабдевање града Београда пијаћом водом, као и спољним сервисним прстеном фабрике за производњу пијаће воде Макиш Ф500, чије оштећење и прекид рада проузрокује и прекид рада комплетне фабрике Макиш и прекид водоснабдевања потрошача на подручју града Београда.

## 4. ЗАКЉУЧАК

У раду је приказан метод за израчунавање сопствених вредности и сопствених вектора троугластог расплинутог броја на основу процене очекиваних вредности фази бројева и њихових производа. Проблем расплинутих сопствених вредности са троугластим расплинутим бројевима трансформисан је у три помоћна проблема сопствених вредности. Рангирање алтернатива извршено је према очекиваној вредности, стандардној девијацији и коефицијенту варијације. Предложена процедура примењена је за рангирање четири варијанте технологије изградње Канализационе црпне станице Макиш. Решење добијено предложеном методом одговара усвојеном оптималном решењу.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Chaisar, M., Garg, S. K. (2022). Selection of Sewage Treatment Technology using Analytic Hierarchy Process. *Materials Today: Proceedings*, *56*, 3433-3440.

[2] Cheng, C-H. (1992). A new approach for ranking fuzzy numbers by distance method. *Fuzzy Sets and Systems*, 95, 307-317.

[3] Ho, J. Y., Ooi, J., Wan, Y. K., & Andiappan, V. (2021). Synthesis of wastewater treatment process (WWTP) and supplier selection via Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). *Journal of Cleaner Production*, *314*, 128104.

[4] Ibrahim, E. H., Mohamed, S. E., & Atwan, A. A. (2011). Combining fuzzy analytic hierarchy process and GIS to select the best location for a wastewater lift station in El-Mahalla El-Kubra, North Egypt. *International Journal of Engineering & Technology*, 11(5), 44-50.

[5] Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“. (2020). Izrada projekta za izvođenje i izgradnju pumpne stanice i objekata za tretman i odvođenje atmosferskih voda - Makiš, Idejno rešenje.

[6] Jaskowski, P., Biruk, S., Bucon, R. (2010). Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method applica- tion in group decision environment, *Automation in Con- struction* 19, 120–126.

[7] Lee, E. S., Li, R.L. (1988). Comparison of fuzzy numbers based on the probability measure of fuzzy events. *Computers & Mathematics with Application* 15, 887-896.

[8] Ouyang, X., Guo, F., Shan, D., Yu, H., Wang, J. (2015). Development of the integrated fuzzy analytical hierarchy process with multidimensional scaling in selection of natural wastewater treatment alternatives. *Ecological Engineering*, *74*, 438-447.

[9] Pan, N. F. (2008). Fuzzy AHP approach for selecting the suitable bridge construction method, *Automation in Construction*, 17, 958–965.

[10] Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.

[11] Taylan, O., Bafail, A. O., Abdulaal, R. M. S., Kabli, M. R. (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies, *Applied Soft Computing* 17, 105–116.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ХИБРИДНЕ НЕУРОНСКЕ МРЕЖЕ У ПРЕДВИЂАЊУ ЦИЈЕНА НА ФИНАНСИЈСКИМ МАРКЕТИМА

# HYBRID NEURAL NETWORKS IN PREDICTING PRICES OF FINANCIAL MARKETS

НИКОЛА ВАСИЉЕВИЋ [1], СЊЕЖАНА МАКСИМОВИЋ [2], СЛАВИЦА ГАЈИЋ [3]

[1] Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Бања Лука
nikola.vasiljevic@student.aggf.unibl.org
[2] Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Бања Лука
snjezana.maksimovic@aggf.unibl.org
[3] Универзитет у Бањој Луци, Електротехнички факултет, Бања Лука,
slavica.gajic@etf.unibl.org

---

***Резиме:*** *У раду је уведена хибридна неуронска мрежа која комбинује конволуциону и рекурентну архитектуру за рјешавање сложених задатака обраде података, при чему је конволуциона мрежа кориштена за извлачење просторних трендова из улазних података, док је рекурентна неуронска мрежа кориштена за моделирање временске секвенце података, њихове међусобне зависности и самог контекста података. Ова комбинација омућава моделу да научи сложене просторне и временске обрасце у подацима. Евалуација модела проведена је на скупу података временске секвенце кретања цијена финансијских инструмената, гдје је циљ био предвиђање кретања цијена инструмената. Добијени резултати показују да хибридна неуронска мрежа постиже боље перформансе у односу на традиционалне методе и појединачне неуронске мреже, чиме је потврђена предност комбинације конволуционе и рекурентне неуронске мреже.*

***Кључне речи:*** *хибридна неуронска мрежа, конволуциона мрежа, рекурентна неуронска мрежа, оптимизација, анализа ризика, грађевинарство.*

***Abstract:*** *In this paper a hybrid neural network that combines convolutional and recurrent architectures to solve complex data processing tasks was introduced, where a convolutional network is used to extract spatial trends from the input data, while a recurrent neural network is used to model the temporal sequence of data, their mutual dependence and the data contest itself. These combinations enable the model to learn complex spatial and temporal patterns in the data. The evaluation of the model was carried out on a data set of the time sequence of the creation of prices of financial instruments, where the goal was to predict the movement of instrument prices. The obtained results show that the hybrid neural network achieves better performance compared to traditional methods and individual neural networks, thus confirming the advantages of the combination of convolutional and recurrent neural networks.*

***Keywords:*** *hybrid neural network, convolutional network, recurrent neural network, optimization, risk assessment, civil engineering.*

---

## 1. УВОД

Предвиђање кретања цијена финансијских инструмената је изазовна област истраживања због њихове високе инфлације и сложености [1]. Посљедњих година, неуронске мреже су постале популаран алат за анализу и предвиђање цијена финансијских инструмената [2,5,6]. Међутим, традиционалне неуронске мреже се често суочавају са изазовима у обради секвенцијалних података и откривању просторних карактеристика у финансијским временским секвенцама [7-9]. У циљу побољшања предиктивне моћи модела, у овом раду је уведена хибридна неуронска мрежа која комбинује конволуциону и рекурентну архитектуру.

Конволуциона неуронска мрежа (ЦНН) је способна да издвоји просторне карактеристике из временских секвенци цијена, идентификује обрасце и трендове у подацима [4]. С друге стране, рекурентна неуронска мрежа (РНН) је посебно погодна за моделирање временских зависности и самог контекста у подацима финансијских инструмената [3]. Интеграцијом ове двије архитектуре, хибридна неуронска мрежа има потенцијал да ухвати сложене просторне и временске обрасце који се јављају у кретању цијена финансијских инструмената [10].

Циљ овог истраживања је да се, користићи скуп података који садржи историјске цијене и друге релевантне информације о финансијским тржиштима, испита учинак хибридне неуронске мреже у предвиђању кретања цијена финансијских инструмената. Процјена се заснива на поређењу предвиђања модела са стварним кретањем цијена у одређеним временским интервалима.

Добијени резултати показују да хибридна неуронска мрежа пружа побољшану предиктивну моћ у поређењу са традиционалним методама предвиђања кретања цијена. Ови резултати могу имати значајну примјену у финансијском сектору, као што је доношење инвестиционих одлука, управљање ризиком и развој стратегија трговања. Поред тога, ово истраживање доприноси даљем разумијевању примјене хибридних неуронских мрежа у предвиђању временских секвенци и оставља простор за даља истраживања у овој области.

## 2. МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

У раду је кориштена хибридна неуронска мрежа која се састоји од конволуционе и рекурентне архитектуре за предвиђање кретања цијена финансијских инструмената. Методологија истраживања је сљедећа:

1. Припрема података: Прикупљени су историјски подаци о цијенама финансијских инструмената, заједно са другим релевантним информацијама, као што су обим трговања, индикатори техничке анализе и вијести везане за тржиште. Подаци су подијељени на обуку, валидацију и тестирање.
2. Конструкција ЦНН: ЦНН се користити за издвајање просторних карактеристика из временских секвенци цијена и састоји се од 4 конволуциона слоја који откривају обрасце у подацима, слојева компресије и потпуно повезаних слојева класификације.
3. Изградња РНН: РНН се користити за моделовање временских зависности и контекста у подацима финансијског тржишта. Она користити ЛСТМ (Long Short-Term Memory) слојеве који могу ефикасно да раде са секвенцијалним подацима.
4. Интеграција хибридне неуронске мреже: Добијене карактеристике из конволуционе мреже биће улаз за рекурентну неуронску мрежу, што омогућава комбинацију просторних и временских информација у јединственом хибридном моделу.
5. Обука и валидација: Хибридна неуронска мрежа је обучена на подацима обуке користећи алгоритам пропагирања. Да би се спријечило прекомјерно учење, кориштена је техника регуларизације и смањења стопе учења. У циљу постизања најбољих перформанси, параметри мреже су оптимизовани путем Бајесове оптимизације.
6. Процјена перформанси: На крају су тестиране перформансе хибридне неуронске мреже на тестним подацима и измјерена тачност предвиђања, прецизност, одговор и друге релевантне метрике које омогућавају процијену квалитета предвиђања.

## 3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Експериментални резултати показују да хибридна неуронска мрежа постиже значајно побољшане перформансе у предвиђању кретања цијена финансијских инструмената у поређењу са традиционалним методама и појединачним неуронским мрежама. Традиционалне неуронске мреже које се користе су рекурентне неуронске мреже (РНН) које достижу тачност до 80% [8]. Кориштен је скуп података који укључује историјске цијене и друге релевантне информације о финансијским тржиштима. Добијени резултати су представљени у табели 1, као и на сликама 1-6, гдје је:

- Назив инструмента: финансијски интрумент којим тргујемо и чију цијену предвиђамо
- Предвиђена цијена: кретање цијена које је предвидила хибридна неуронска мрежа
- Стварна цијена: стварна цијена инструмента
- Тачност: добијамо преко формуле вјероватноће:

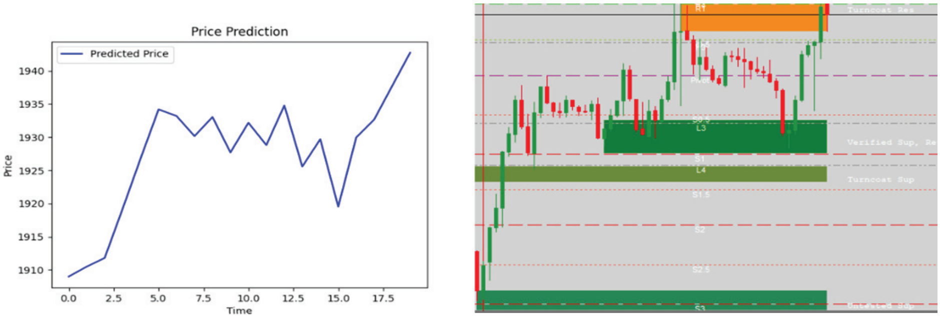
$P = \frac{n}{m} * 100\%, n < m; P = \frac{m}{n} * 100\%, n > m;$ $n$ представља предвиђену цијену, док $m$ стварну цијену .

- Вриједност функције губитка: представља грешку при тренирању неуронске мреже

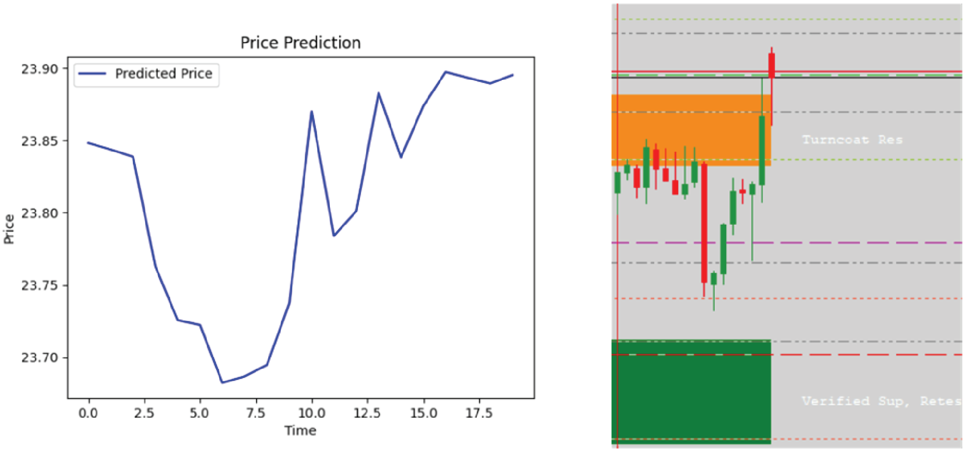
**Табела 1:** Предвиђање цијене инструмената користећи хибридну неуронску мрежу.

| Назив инструмента | Предвиђена цијена | Стварна цијена | Тачност | Вриједност функције губитка | Илустрација |
|---|---|---|---|---|---|
| Злато | 1956.0 | 1959 | 99.84% | $2.44*10^{-4}$ | Слика 1 |
| Сребро | 23.90 | 23.477 | 98.23% | $2.14*10^{-4}$ | Слика 2 |
| Нафта | 88.00 | 87.00 | 98.63% | $2.49*10^{-4}$ | Слика 3 |
| Аустралијски долар | 0.6570 | 0.6501 | 99.01% | $3.11*10^{-4}$ | Слика 4 |
| Биткоин | 28250.0 | 28300.0 | 99.83% | $4.44*10^{-4}$ | Слика 5 |
| Биткоин | 28900.0 | 29000.0 | 99.66% | $4.11*10^{-4}$ | Слика 6 |

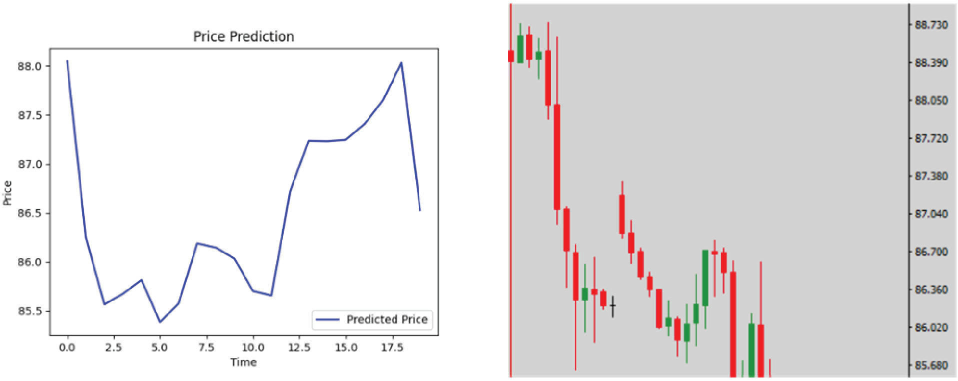
Из табеле 1 се види да је највећа тачност постигнута приликом предвиђања цијене злата, док је најмања тачност код цијене сребра.



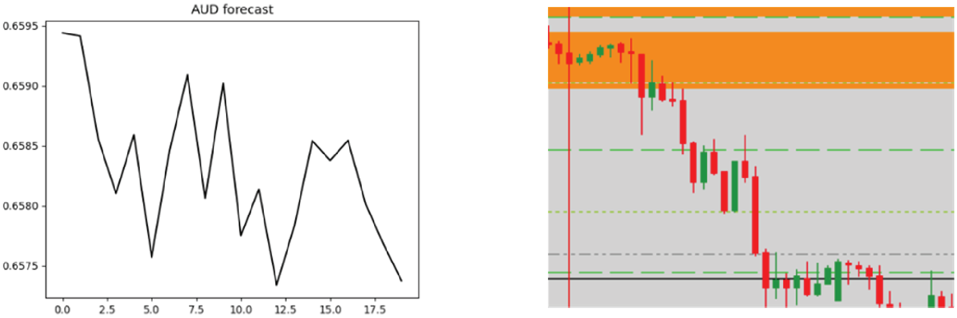
**Слика 1:** Предикција и стварно кретање цијене злата.



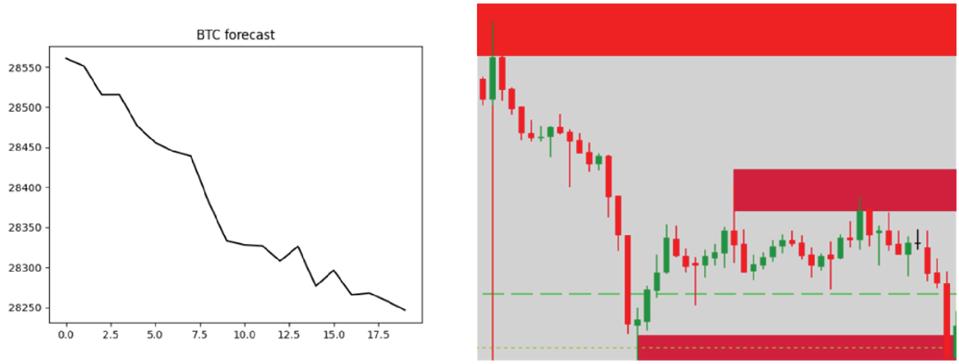
**Слика 2:** Предикција и стварно кретање сребра.



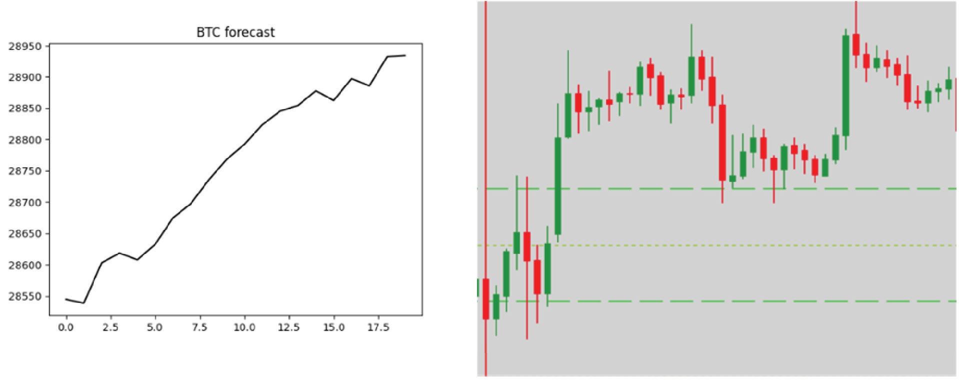
**Слика 3:** Предикција и стварно кретање нафте.



**Слика 4:** Предикција и стварно кретање Аустралијског долара.



**Слика 5:** Предикција и стварно кретање Биткоина.



**Слика 6:** Предикција и стварно кретање Биткоина.

Представљени резултати су израчунати на основу тест података и представљају значајно побољшање у односу на традиционалне методе предвиђања цијена [8]. Даља анализа показује да је хибридна неуронска мрежа успјешно ухватила сложене просторне и временске обрасце кретања цијена. Конволуциона архитектура је идентификовала локалне просторне карактеристике, док је рекурентна архитектура моделирала временске зависности и контекст података. Ова комбинација архитектура омогућила је моделу да научи важне обрасце у подацима и направи прецизнија предвиђања.

Побољшане перформансе хибридне неуронске мреже указују на њену примјену у финансијском сектору, посебно у доношењу инвестиционих одлука, управљању ризицима и развоју стратегија трговања. Изведено истраживање доприноси даљем разумијевању примјене хибридних неуронских мрежа у предвиђању временских секвенци, пружајући увид у њихову ефикасност и предности у контексту финансијских тржишта.

## 4. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је уведена хибридна неуронска мрежа која комбинује конволуциону и рекурентну архитектуру за предвиђање кретања цијена финансијских инструмената. Добијена анализа резултата показује да хибридна неуронска мрежа постиже значајно побољшане перформансе у односу на традиционалне методе предвиђања цијена.

Интеграцијом конволуционе мреже за екстракцију просторних карактеристика и рекурентне мреже за моделирање временских зависности, хибридна неуронска мрежа је успешно ухватила сложене обрасце у подацима. Ови резултати указују на предности комбиновања просторних и временских информација у предвиђању кретања цијена.

На основу добијених резултата се види да ово истраживање даје важан допринос разумијевању примјене хибридних неуронских мрежа у контексту финансијских тржишта. Хибридне неуронске мреже имају потенцијал за примјену у доношењу инвестиционих одлука, управљању ризицима и развоју стратегије трговања.

Важно је напоменути да је предвиђање кретања цијена изазован проблем због високе инфлације и сложености финансијских тржишта. Стога се даља истраживања могу фокусирати на даље побољшање перформанси хибридних неуронских мрежа, укључујући различите архитектуре и варијације параметара. Такође, разматрање додатних фактора, као што су фундаментална анализа или шири скуп улазних података, може допринијети даљем побољшању предиктивне моћи.

Хибридна неуронска мрежа представља обећавајући приступ за предвиђање кретања цијена финансијских инструмената, јер његова примјена може пружити драгоцјене информације и подршку учесницима на финансијском тржишту у доношењу информисаних одлука и управљању ризицима.

**ЗАХВАЛНИЦА:** Аутори захваљују фирми План Плус д.о.о. која нам је омогућила кориштење софтвера, број патента по WIPO G06Q 30/0283 за обраду података.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Алибеговић, Џ. (2013). Impact of Business Performance Indicators on Share Prices on Stock Exchanges in Bosnia and Herzegovina, *ACTA ECONOMICA*, 18, 253-270.

[2] Циндрић, М. (2018). Примјена неуронских мрежа за предвиђање економског раста. Мастер рад, Свеучилиште у Загребу.

[3] Chen, S.Y.C., Fry, D., Deshmukh, A., Rastunkov, V. и Stefansk, C. (2022). Reservoir Computing via Quantum Recurrent Neural Networks. Preprint, Available at https://arxiv.org/pdf/2211.02612.pdf

[4] Дабовић, М. и Тартаља, И. (2017). Дубоке конволуцијске неуронске мреже -концепти и актуелна истраживања, *ETRAN*, 1-6.

[5] Dvoryatkina, S. и Golovin, D. (2022). Neural network technologies for analysis and risk assessment in forecasting the market of industrial financial instruments. In *Journal of Physics: Conference Series*, 2176 (1), 012091.

[6] Гавран, С. (2016). Вештачке неуронске мреже у истраживању података: преглед и примена. Мастер рад, Математички факултет, Факултет организације и информатике, Универзитет у Београду

[7] Jahan, I., Sajal, S. Z. и Nygard, K. E. (2019). Prediction model using recurrent neural networks. In *2019 IEEE international conference on electro information technology (EIT)*, 1-6.

[8] Jahan, I. (2018). Stock price prediction using recurrent neural networks. Master thesis, North Dacota State University.

[9] Mateńczuk, K. at all. (2021). Financial time series forecasting: comparison of traditional and spiking neural networks. *Procedia Computer Science*, *192*, 5023-5029.

[10] Zhao, R., Yang, Z., Zheng, H. *et al.* (2022). A framework for the general design and computation of hybrid neural networks. *Nat Commun,* 13, 3427.

# ПРИМЕНА ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА У ОДБРАНИ

# OPERATIONAL RESEARCH APPLICATIONS IN DEFENCE

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# РАНГИРАЊЕ ИНСТРУКТОРА У ОБУЦИ ВОЗАЧА

# RANKING OF DRIVING INSTRUCTORS

АЛЕКСАНДАР ЗЛАТАНОВИЋ[1], САЊА ТОМИЋ[2], МАРИЈА ВИЋЕНТИЈЕВИЋ[3]

[1] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, acazlatkoo@gmail.com
[2] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, sanjcextomic@gmail.com
[3] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, majakv00vicentijevic@gmail.com

---

***Резиме:*** *Инструктори су важни фактори у обуци возача и њихова стручност у преносу знања игра битну улогу у формирању навика и способности будућих возача за касније безбедно и сигурно управљање моторним возилом у саобраћају. У раду је приказан модел за рангирање инструктора, применом DEMATEL методе. Овакав модел вредновања рада инструктора уноси више објективности у процес евалуације, где се DEMATEL метода показала корисним алатом.*

***Кључне речи:*** *Рангирање, инструктор вожње, DEMATEL метода*

***Abstract****: Instructors are important factors in driver training, and their expertise in transferring knowledge plays a crucial role in shaping the habits and abilities of future drivers for safe and secure vehicle operation in traffic. This study presents a model for ranking instructors using the DEMATEL method. Such a model for evaluating instructor performance introduces more objectivity into the evaluation process, where the DEMATEL method has proven to be a useful tool.*

***Keywords:*** *Ranking, driving instructors, DEMATEL method*

---

## 1. УВОД

Квалитетна обука кандидата за стицање возачке дозволе је суштинска претпоставка њиховог каснијег безбедног учешћа у саобраћају, а квалитет обуке зависи од бројних фактора. Један од незаобилазних и кључних фактора у обуци возача јесу инструктори.

Стручност и квалитет рада инструктора у обуци огледа се у преносу знања, што има круцијалну улогу у формирању навика и развоју способности будућих возача. Инструктор вожње је кључна особа у свакој ауто-школи. Његов примарни задатак је да кандидате за стицање возачке дозволе оспособи за безбедно управљање возилом, уз поштовање свих правила саобраћаја, али и да кандидатима усади позитивне навике и да их научи одговорном понашању у саобраћају. Последично, обично је образовање и лиценцирање инструктора вожње, у свим државама, релативно добро регулисано законима и другим нормативним актима.

У Републици Србији циљеви образовања инструктора вожње, осим стицања свих потребних знања за обуку кандидата у управљању возилима и њихову практичну примену, односе се и на:

- стицање и примену знања из области саобраћајне етике и психологије,
- познавање дидактичких принципа и методике обуке у управљању возилима
- познавање организационих модела и захтева процеса обуке,
- познавање и примена важећих нормативно-регулативних прописа из домена безбедности саобраћаја на путевима и др.

Поред тога, у Републици Србији постоји и институт лиценцирања инструктора практичне обуке у управљању возилима. Тај процес, обуку и лиценцирање инструктора, спроводи Агенција за безбедност саобраћаја, по посебном програму.

Ипак, и поред свеобухватне уређености бројних питања у вези са инструкторима вожње, а све у циљу стандардизовања њиховог рада, постоје и одређени аспекти који су неуређени. Тако нпр. није у довољној мери уређен систем вредновања рада инструктора. Наиме, постоји велика варијабилност у квалитету и ефикасности инструктора, што у крајњем има утицај на успешност обуке, задовољство кандидата на обуци, али и на безбедност саобраћаја у целини.

У овом раду предложен је модел за релативну евалуацију рада иструктора у обуци возача и њихово међусобно рангирање. Модел се заснива на прилагођавању и употреби DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) методе за међусобно позиционирање инструктора ангажованим у обуци. Модел је применљив у свим ауто-школама, али је тестиран на примеру евалуације и рангирања инструктора вожње у Војсци Србије.

## 2. DEMATEL МЕТОДА

DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) метода је истраживачки поступак који је настао 1971. године. То је метода вишекритеријумске анализе структуре сложених система. Корисна је, и иницијално је намењена, за анализу узрочно-последичних веза између различитих компоненти система. На почетку је њена примена била концентрисана на три главна подручја истраживања: проучавање проблема структуре система, развој и адаптација методологија погодних за анализу комплексних проблема и преглед постојећих студија модела и извора података у одређеној области [3].

Примена DEMATEL методе је касније проширена на разне области, као што су: ревизија информационих технологија [8], поређење индустријских кластера [4], развој туристичке политике [5], одабир добављача [4], управљање хитним случајевима [10], одабир особља [1], одређивање критичних фактора у епидемијама [7] и др. Систематизовани прегледи примене DEMATEL методе за решавање разноврсних проблема могу се видети у [3] и у [9].

Поступак примене DEMATEL методе [2] своди се на прикупљање мишљења експерата о међусобном утицају фактора/критеријума у неком систему (утицај се изражава бројчано: 0 – нема утицаја, 1 – низак утицај, 2 – средњи утицај, 3 – висок утицај и 4 – врло висок утицај), након чега се та мишљења структуирају у матричну форму и трансформишу у јединственом математичком поступку. Као резултат анализе добија се квантитативни израз утицаја сваког од фактора на остале факторе и на цео систем, при чему сваки фактор може бити извор утицаја, али и пријемник утицаја. Постављањем прага утицаја може се управљати детаљношћу прегледа резултата, а све се може и графички представити.

За потребе рангирања инструктора за обуку возача било је неопходно извршити одређена прилагођавања изворне методе.

## 3. ПРИЛАГОЂАВАЊЕ DEMATEL МЕТОДЕ ЗА ПОТРЕБЕ РАНГИРАЊА ИНСТРУКТОРА ЗА ОБУКУ ВОЗАЧА

С обзиром да је у научним радовима DEMATEL метода прихваћена као погодан и поуздан алат за утврђивање релативног односа у групи фактора, претпоставка је да се са истим успехом може прилагодити за потребе одређивања релативног односа у групи инструктора, односно рангирање инструктора.

У истраживање је, у својству „експерата“, укључено 10 кадета Војне академије, који су непосредно пре тога били на обуци у управљању моторним возилима и који су успешно положили возачки испит и стекли возачку дозволу „Б“, „Б1“, „Ц“ и „Ц1“ категорије. С обзиром на организацију рада, у за то намењеној јединици Војске Србије, за време обуке у управљању моторним возилима, у трајању од 45 дана, ових 10 кадета је било обучавано од стране укупно пет инструктора вожње. Задатак кадета је био да попуњавањем одговарајућег анкетног упитника, оцене инструкторе вожње, поредећи их у паровима. Кадети су се изјашњавали по питању доминантности, односно инфериорности, једног инструктора у односу на другог, дајући своје оцене сходно унапред одређеној скали (модификована скала у односу на изворну скалу која се користи приликом примене DEMATEL методе), табела 1.

**Табела 1**: Скала за међусобно упоређивање инструктора

| Оцена | 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| Значење | Потпуно инфериоран | Инфериоран | Доминантан | Потпуно доминантан |

У складу са корацима примене DEMATEL методе [2], најпре је потом генерисана матрица директне релације. Елементи матрице директних релација (A) представљају средњу вредност мишљења 10 анкетираних кадета, табела 2.

**Табела 2**: Почетна матрица A директних релација

| A | Инструктор 1 | Инструктор 2 | Инструктор 3 | Инструктор 4 | Инструктор 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Инструктор 1 | 0.00 | 1.80 | 1.80 | 2.60 | 2.00 |
| Инструктор 2 | 1.80 | 0.00 | 2.20 | 3.00 | 2.00 |
| Инструктор 3 | 1.60 | 1.60 | 0.00 | 2.60 | 1.60 |
| Инструктор 4 | 0.60 | 0.80 | 1.00 | 0.00 | 1.20 |
| Инструктор 5 | 1.80 | 1.40 | 1.60 | 2.60 | 0.00 |

У даљем поступку је, сходно математичкој основи DEMATEL методе, извршена нормализација матрице директних релација.

Нормализована матрица (X), приказана у табели 3, добијена је применом израза (1) и (2).

$$X = k.A \tag{1}$$

$$k = \frac{1}{\max\limits_{1 \le i \le n} \sum_{j=1}^{n} a_{ij}}, i, j = 1, 2, \ldots, n \tag{2}$$

**Табела 3**: Нормализована матрица директних релација - матрица X

| X | Инструктор 1 | Инструктор 2 | Инструктор 3 | Инструктор 4 | Инструктор 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Инструктор 1 | 0.0000 | 0.2000 | 0.2000 | 0.2889 | 0.2222 |
| Инструктор 2 | 0.2000 | 0.0000 | 0.2444 | 0.3333 | 0.2222 |
| Инструктор 3 | 0.1778 | 0.1778 | 0.0000 | 0.2889 | 0.1778 |
| Инструктор 4 | 0.0667 | 0.0889 | 0.1111 | 0.0000 | 0.1333 |
| Инструктор 5 | 0.2000 | 0.1556 | 0.1778 | 0.2889 | 0.0000 |

Потом је израчуната матрица тоталних релација (T)

Матрица тоталних релација (T) састоји се од свих релација међу факторима, односно инструкторима у конкретном примеру, укључујући и директне и индиректне односе између инструктора. Матрица (T), табела 4, израчунава се према изразу (3).

$$T = X + X^2 + X^3 + \ldots + X^h = X(I - X)^{-1}, h \to \infty \tag{3}$$

**Табела 4:** Матрица тоталних релација (Т)

| **Т** | Инструктор 1 | Инструктор 2 | Инструктор 3 | Инструктор 4 | Инструктор 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Инструктор 1 | 0.4587 | 0.6178 | 0.6858 | 1.0338 | 0.7211 |
| Инструктор 2 | 0.6572 | 0.4832 | 0.7534 | 1.1211 | 0.7590 |
| Инструктор 3 | 0.5647 | 0.5588 | 0.4696 | 0.9585 | 0.6387 |
| Инструктор 4 | 0.2957 | 0.3075 | 0.3585 | 0.4027 | 0.3848 |
| Инструктор 5 | 0.5798 | 0.5425 | 0.6193 | 0.9568 | 0.4870 |

Вредности $r_{nx1}$ и $c_{1xn}$ су вектори који представљају суму редова матрице и суму колона матрице укупне релације, респективно, изрази (4) и (5):

$$r = (r_1, \ldots, r_i, \ldots, r_n) = (r_i)_{nx1} = \left[\sum_{j=1}^{n} t_{ij}\right]_{nx1} \tag{4}$$

$$c = (c_1, \ldots, c_j, \ldots, c_n) = (c_j)_{nx1} = \left[\sum_{i=1}^{n} t_{ij}\right]_{1xn} \tag{5}$$

Сума редова означава укупни утицај који конкретни фактор испољава у односу на друге факторе, док је сума колона утицај који тај фактор прима од других фактора. Након тога су, на основу вредности *r-c* и *r+c*, утврђени односи међу инструкторима, тј. доминантност једног инструктора у односу на другог, или инфериорност једног инструктора у односу на другог.

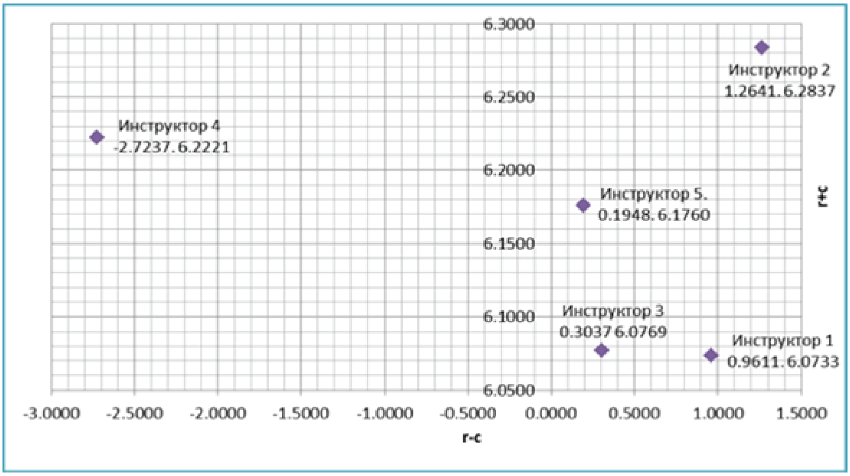
Када се узму у обзир *r-c* и *r+c* вредности, табела 5, прихваћено је да инструктори који имају веће вредности *r+c* имају већу доминантност у односу на друге инструкторе, супериорнији су, односно квалитетнији у раду. Насупрот томе, инструктори који имају негативне вредности *r-c* и мање вредности *r-c*, они су инфериорнији у односу на друге инструкторе.

Табела 5: Сума редова и колона матрице Т

| | r | c | r-c | r+c |
|---|---|---|---|---|
| Инструктор 1 | 3.5172 | 2.5561 | 0.9611 | 6.0733 |
| Инструктор 2 | 3.7739 | 2.5098 | 1.2641 | 6.2837 |
| Инструктор 3 | 3.1903 | 2.8866 | 0.3037 | 6.0769 |
| Инструктор 4 | 1.7492 | 4.4729 | -2.7237 | 6.2221 |
| Инструктор 5 | 3.1854 | 2.9906 | 0.1948 | 6.1760 |

Ради анализе међусобних односа, у складу са методолошким поступком, у овом кораку примене методе, потребно је поставити праг утицаја који се жели посматрати (тј. доња вредност утицаја - вредност испод које се утицаји занемарују). У конкретном примеру, с обзиром да се ради о евалуацији и рангирању инструктора, овај корак је прескочен, односно може се сматрати да је постављен праг близак 0. Након тога су сви односи и графички представљени.

Графички приказ је добијен наношењем вредности ($r_i$-$c_j$) и ($r_i$+$c_j$) тачака у координатни систем, у коме су хоризонтална оса и вертикална оса представљене са ($r_i$-$c_j$) и ($r_i$+$c_j$), респективно, слика 1.



**Слика 1:** Графички приказ међусобних односа инструктора

## 4. РЕЗУЛТАТИ ПРИМЕНЕ DEMATEL МЕТОДЕ И ДИСКУСИЈА

Према резултатима приказаним у четвртој колони табеле 5, релативни однос инструктора у односу на вредности (*r-c*), евидентно је *инструктор 4* значајно инфериорнији у односу на све остале вредноване инструкторе, док је *инструктор 2* изражено доминантнији у односу на друге инструкторе. Истовремено нпр., *инструктор 3* и *инструктор 5* су релативно блиски у оценама, иако благу предност има *инструктор 3*.

И релативни однос инструктора у односу на вредности (*r*+*c*), последња колона у табели 5, указује на то да је *инструктор 2* доминантан у односу на остале инструкторе, иако та доминација сада није тако снажно изражена.

Интересантно је да је, по овом аспекту, другорангирани инструктор – инструктор 4 (који је по претходном критеријуму био најинфериорнији), а последње рангирани су инструктор 1 и инструктор 3 (који су претходно били друго и трећерангирани).

Генерално, на основу графичког приказа доминантности и инфериорности инструктора, може се закључити да је коначан ранг инструктора:

*инструктор 2* > *инструктор 1* > *инструктор 3* > *инструктор 5* > *инструктор 4*

## 5. ЗАКЉУЧАК

Примењујући DEMATEL методу, на примеру од 10 кадета Војне академије који су прошли обуку у управљању моторним возилима, и које је обучавало пет инструктора вожње, рангирани су инструктори вожње на основу њихове доминантности/инфериорности по питању квалитета рада током обуке. Резултати истраживања показују да постоје разлике у перформансама инструктора вожње.

Демонстрирани пример је показао и да се применом DEMATEL методе, могу анализирати не само фактори у неком систему и његова међусобна зависност, већ и да се може евалуирати рад и спровести рангирање извршилаца.

Важно је имати на уму да је овај закључак базиран на узорку од 10 кадета Војне академије и пет инструктора вожње, што може имплицирати ограничења у примени на општем нивоу. Даља истраживања и проширење примене на већи узорак и у различитим контекстима би могли пружити општије закључке, са широким дијапазоном могуће примене.

Примена DEMATEL методе и укључивање додатних фактора и контекстуалних промењљивих могу донети нове увиде и допринети оптимизацији обуке возача и квалитету програма за оспособљавање инструктора.

## ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је проистекао из научноистраживачког пројекта ВА-ТТ/2/20-25 који финансира Министарство одбране Републике Србије.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Aksakal E. and Dağdeviren M. (2010) ANP ve DEMATEL Yöntemleri ile Personel Seçimi Problemine Bütünleşik bir Yaklaşım, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ, 25 (4), 905-913.

[2] Elham Falatoonitoosi, Zulkiflle Leman, Shahryar Sorooshian and Meysam Salimi (2013) Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 5(13)

[3] Feyyaz Cengiz DIKMEN & Yunus TAŞ (2018) Applying DEMATEL approach to determine factors affecting hospital service quality in a university hospital

[4] Hsu, C., Wang, F. and Tzeng, G. (2012) The best vendor selection for conducting the recycled material based on a hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR, Resources, Conservation and Recycling 66 95– 111.

[5] Liu, C., Tzeng, G. and Lee M. (2012) Improving tourism policy implementation – The use of hybrid MCDM models, Tourism Management 33, 413-426.

[6] Lin, C. and Tzeng, G. (2009) A value-created system of science (technology) park by using DEMATEL, Expert Systems with Applications 36, 9683–9697.

[7] Ou, S., Liu L. and Chin K. (2014) Enhancing Risk Communication for More Effective Epidemic Control in Taiwan, Asia-Pacific Journal of Public Health, 26(1), 85–92

[8] Tsai, W., Chou, Y., Lee, K., Lin, W. and Hwang, E.T.Y (2013) Combining Decision Making Trial and Evaluation Laboratory with Analytic Network Process to Perform an Investigation of Information Technology Auditing and Risk Control in an Enterprise Resource Planning Environment, Systems Research and Behavioral Science Syst. Res. 30, 176–193.

[9] Veysi BAŞHAN Hakan DEMİREL (2019) Application of Fuzzy Dematel Technique to Assess Most Common Critical Operational Faults of Marine Boilers

[10] Zhou, Q., Huang, W and Zhang, Y. (2011) Identifying critical success factors in emergency management using a fuzzy DEMATEL method, Safety Science 49, 243–252.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА И ТЕСТИРАЊЕ ПЕРФОРМАНСИ LIGHTWEIGHT КРИПТОГРАФКСИХ АЛГОРИТАМА НА JAVA СМАРТ КАРТИЦАМА

# IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE TESTING OF LIGHWEIGHT CRYPTOGRAPHIC ALGORITHMS ON JAVA SMART CARDS

БОРИША ЈОВАНОВИЋ[1,2], МАРИЈА ШЕКЛЕР[3], ИВАН ТОТ[2]

[1] Центар за примењену математику и електронику, Београд, cpme@vs.rs
[2] Војна академија Универзитет одбране у Београду, Београд, office@va.mog.gov.rs
[3] Војнобезбедносна агенција, Београд, vba@mod.gov.rs

---

***Резиме:*** *У овом раду представљен је један приступ имплементацији и тестирању lightweight криптографских алгоритама на JAVA смарт картицама. У овом раду су имплементирани неки од криптографских алгоритама који су финалисти процеса истраживања, евалуације и стандардизације lightweight криптографских алгоритама који су погодни за употребу у окружењима у којима перформансе актуелних криптографских стандарда нису прихватљиве. У приступу имплементацији, датој у овом раду, посебна пажња је посвећена оптимизацији имплементације која користи криптографски копроцесор, RAM и EEPROM компоненте JAVA смарт картице. Фокус тестирања перформанси је тестирање времена потребног за шифровање података, као и тестирање количине меморије потребне за обављање операције шифровања. На крају рада, добијени резултати су квантификовани и међусобно упоређени како би били од помоћи при избору lightweight криптографског алгоритма за употребу у окружењима са ограниченом процесорском снагом и меморијским ресурсима.*

***Кључне речи:*** *Lightweight криптографски алгоритми, тестирање перформанси, JAVA смарт картице.*

***Abstract:*** *This paper presents an approach to the implementation and testing of lightweight cryptographic algorithms on the JAVA smart card platform. Here are implemented some of the cryptographic algorithms that are finalists in the process of research, evaluating and standardizing lightweight cryptographic algorithms that are suitable for use in environments where the performance of current cryptographic standards is not acceptable. In our approach to implementation, special attention is paid to the optimization of the implementation that uses the cryptographic coprocessor, RAM and EEPROM components of the JAVA smart card. The focus of performance testing is testing the time required to encrypt data as well as testing the amount of memory required to perform an encryption operation. At the end of the work, the data obtained in this way were quantified and compared with each other in order to be helpful in choosing a lightweight cryptographic algorithm for use in environment with limited processing power and memory resources.*

***Keywords:*** *Lightweight cryptographic algorithms, performance testing, JAVA smart cards.*

---

## 1. УВОД

Истовремено са убрзаним развојем рачунара и рачунарских компоненти, аутентикациони токени постају веома популарни и добијају на значају. Биометријске путне исправе - пасоши, електронске личне карте и електронски идентификациони документи, кредитне, дебитне или СИМ картице само су мали примери савремених технолошких достигнућа које свакодневно користимо и са којима свакодневно долазимо у контакт. У последњих десетак година доступност паметних картица је нагло порасла, заједно са њиховим перформансама, док њихове цене бележе константни пад. Како је цена паметних картица све повољнија, све више људи се интересује за аутентикационе токене и паметне картице. Са друге стране сви потребни софтвери за учитавање програма на паметну картицу су, такође, јавно доступни у виду софтвера отвореног кода. Оно што у нејвећем броју случајева није доступно, то су оптимизоване имплементације различитих криптографских алгоритама које су намењене да се извршавају на паметним картицама. За потребе овог рада имплементирани су и на смарт картицама тестиране перформасе пет различитих алгоритама аутентификованог шифровања који су били финалисти процеса истраживања, евалуације и стандардизације *lightweight* криптографских алгоритама. Под појмом *lightweight* криптографија подразумева се криптографски алгоритам или криптографски протокол који је дизајниран за примену у ограниченим (како временски тако и меморисјки) укружењима укључујући RFID ознаке, различите врсте сензора, безконтактних и контактних паметних картица, медицинских уређаја и сл. Овај рад је организован према следећем. У другом поглављу дат је кратак опис алгоритама аутентикованог шифровања који су имплемтирани за потребе овог истраживања, у трећем поглављу је описан приступ оптимизованој имплементацији док су у четвртом поглављу приказани и описани дебијени резултати у процесу оптимизације имплементације наведених алгоритама. На крају пето поглавље представља кратак закључак.

## 2. АЛГОРИТМИ АУТЕНТИФИКОВАНОГ ШИФРОВАЊА

У овом истраживању, за приказ новог приступа имплементације криптографских алгоритама на јава смарт картицама, изабрани су криптографски алгоритми који спадају у групу алгоритама аутентификованог шифровања. Аутентификовано шифровање (енгл. АЕ - Authenticated Encryption) и Аутентификовано шифровање са повезаним подацима (engl. АЕАД - Authenticated Encryption with Associated Data) представља поступак шифровања којим се истовремено обезбеђује поверљивост, аутентичност и интегритет шифрованих података. Ово се постиже на тај начин што се истовремено са шифровњем отовреног текста израчунава аутентификациона ознака која се након тога придружује шифрату. На пријемној страни, у току дешифровања, врши се поновно израчунавање аутентификационе ознаке, и њено упоређивање са добијеном аутентификационом ознаком, што пружа могућност провере аутентичности и интегритета података који су шифровани.

### 2.1. AEGIS

AEGIS као главни механизам за шифровање података користи рунду стандардног AES криптографкског алгоритма. Дужина кључа, аутентификационе ознаке и случајне вредности која се генерише сваки пут када се кључ промени (енгл. nonce) износи 128 бита. Пошто користи делове стандардног AES криптографкског алгоритма ово је један од временски најефикаснијих *lightweight* аутентификационих алгоритама. Код овог криптографског алгоритма израчунавање аутентификационе ознаке се релизују у току самог поступка шифровања података. Детаљан опис наведеног алгоритма дат је у [1].

### 2.2. ACORN

ACORN као кључ, аутентификациону ознаку и случајну вредност која се генерише сваки пут када се кључ промени (енгл. nonce) користи бинарне вредности величине 128 бита. Главне елементе структуре алгоритма представљају 293-битно стање и 6 линеарних померачких регистара са повратним спрегама. Процес шифровања података обухвата померања садржаја регистара на нивоу бита и шифровање отвореног текста бит по бит. Аутентификациона ознака се израчунава након процеса шифровања података. Детаљан опис наведеног алгоритма дат је у [2].

## 2.3. ASCON

Највећа предност ASCON криптографског алгоритма, у односу на остале поменуте алгоритме, огледа се у томе што је дизајниран тако да буде отпоран на нападе из бочног канала. Ова карактеристика код ASCON алгоритма директно утиче на његову временску ефикасност али је истовремено главна предност у односу на остале алгоритме овог типа. Главни елемент структуре алгоритма представља 320-битно стање, које обрађује 64-битне или 128-битне поруке користећи операцију битске ротације. У свом раду, на самом почетку се обрађују повезани подаци након тога се врши шифровање отвореног текста и на крају се израчунава аутентификациона ознака. Детаљан опис наведеног алгоритма дат је у [3].

## 2.4. MORUS

MORUS је једини из ове групе алгоритама који као главни елемент структуре алгоритма има дводимензионално стање. Његово стање чине пет 128-битних блокова. Израчунавање над поменутом матрицом стања је слично Фејстеловој структури, где се тренутна вредност елемената стања ажурира по рундама, што имплицира да се често користе операције битске ротације. Ова чињеница имплицира да је MORUS јако спор криптографски алгоритам када се имплеметира у ограниченим окружењима какво су ЈАВА паметне картице. Детаљан опис наведеног алгоритма дат је у [4].

## 2.5. CLOC

CLOC, за разлику од AEGIS алгоритма, користи целокупно израчунавање као и AES криптографкски алгоритам, а не само његове појединачне рунде. Ова чињеница, заједно са чињеницом да се не користе битске операције у његовом раду, резултирају последицом да је CLOC најбржи међу свим алгоритмима који су кандидати за нови *lightweight* стандардни криптографки алгоритам. Главни елемент структура је 128 битна матрица стања, блок је дужине 128 бита док је аутентификациона ознака дужине 64 бита и израчунава се током процеса шифровања података. Способност овог алгоритма да користи структуру AES криптографкског алгоритма аутоматски уклања уобичајена уска грла са којима се други алгоритми срећу. Детаљан опис наведеног алгоритма дат је у [5].

# 3. ПРИСТУП ОПТИМИЗАЦИЈИ ИМПЛЕМЕТАЦИЈЕ

У овом делу су укратко објашњене коришћење технике оптимизације имплеметације наведених алгоритама у ЈАВА програмском језику за потребе извршавања на ЈАВА паметним картицама. Неке од наведених техника имају за циљ повећање брзине, смањујући на тај начин време извршавања алгоритама. Друга група примењених техника има за циљ смањење меморијског отиска, омогућавајући да аплет, програм који се извршава на ЈАВА паметним картицама, има више радне меморије за сам процес извршавања операција. У неким случајевима оптимизација брзине извршавања операција криптографског алгоритма са собом доноси трошкове веће употребе меморије и обрнуто. Наведене технике оптимизације су међусобно комбиноване приликом имплементације предметних криптографских алгоритама.

## 3.1. Битске операције

Кључни део безбедности криптографских алгоритама обично лежи у слоју дифузије, који користи операције засноване на померању битова или ротацији низова битова. Ове операције се лако имплементирају на рачунарима и архитетктурама који подржавају велике целе бројеве (64-битни цели бројеви). Међутим, битске операције представљају тежак и дуготрајан задатак за ЈАВА паметне картице. На ЈАВА паметним картицама, најдужи цели број који можемо да представимо је велики свега 16 бита. У програмима на ЈАВА смарт картицама једнодимензионални и вишедимензионални низови се најчешће имплеметирају као низови 8-битних бројева. У том случају, за померање или ротирање 64-битне вредности потребан је низ од 8 бајтова, где се при свакој операцији сваком бајту приступа посебно. Ово захтева 63 циклуса петље у најгорем случају или 32 циклуса петље и просечном случају. Када се позива више пута, таква имплементација алгоритма ради веома споро, па је неким алгоритмима потребно десетине секунди да се изврше.

Уместо овога, у нашој имплементацији, је коришћена функција *Util.arrayCopyNonAtomic* (уграђена у стандардно окружење за програмирање JABA паметних картица) која је добро оптимизована за рад са низовима[6]. Најпре се изврши провера колико 8-битних блокова се може ротирати одједном и онда се једним позивом методе изврши замена позиција наведених блокова. Након тога потребно је ротирати највише 8 бита. У току истраживања се емпиријски дошло до закључка да је најефикаснији начин итерација преко сваког бајта у низу (уместо итерације преко вредности померања) и коришћење маске приликом померања бајтова. Маска одређује колико битова треба узети у обзир приликом померања за одређену вредност. У овом кораку оптимизације коришћен је само мали део ЕЕПРОМ меморије са циљем да се значајно повећа брзина извршавања алгоритма.

## 3.2. Избегавање петљи

Израчунавање у петљама је једна од најчешће коришћених операција приликом имплементације криптографских алгоритама. Побољшање перформанси петљи се може постићи применом компромиса простор-време. Смањују се временски трошкови извршавања петљи тако што се уклања итератор, инкремент и провера услова, док се ручно понавља тело петље као секвенца засебних инструкција. Ово нам омогућава да унапред израчунамо и у програмски код унесемо индексе низова, тако да нема потребе за њиховим израчунавањем у току извршавања алгортима. Цена побољшања брзине извршавања алгоритма је већа величина инсталационе датотеке која се учитава на паметну JABA картицу.

## 3.3. Редукција броја параметара

Редикција броја улазних параметара програмских метода, које су саставни део програмског кода JABA аплета, помаже редукцији величине програмског кода. Уколико нека метода има три или мање (за статичке методе четири или мање) параметара, компајлер може да користи бајткод пречице. Овакве пречице могу, на пример да узимају свега један бајт меморије, за разлику од стандардних 2 бајта.

## 3.4. Поновна употреба променљивих и обједињавање низова

Најчешћа програмерска пракса – односно тенденција програмера, на платформама које немају ограничења у погледу количине меморије, је да за сваку сврху креирају посебну променљиву или низ променљивих. На таквим платформама то не представља проблем већ доприноси повећаној разумљивости програмског кода. Међутим, на платформама где је на располагању свега 4 килобајта меморије, не може се приуштити слобода да се олако троше било који ресурси. Уштеда ресурса се постиже поновном употребом променљивих за више од једне примене.

На сличан начин обједињавање низова, као техника оптимизације, обједињава променљиве и низове у један низ. То подразумева да се уместо креирања неколико различитих транзиентних низова креира један дужи транзиентни низ у који се смештају све вредности.

Док поновна употреба променљивих доприноси и временској и просторној оптимизацији, обједињавање низова искључиво има утицаја на просторну – меморијску оптимизацију.

## 4. РЕЗУЛТАТИ ОПТИМИЗАЦИЈЕ

За потребе тестирања неоптимизованих и оптимизованих имплементација предметних криптографских алгоритама коришћена је JАВА паметна картица типа *SafeNet IDCore 3140* која подржава спецификацију ***3.0.4.*** и која има 160 килобајта флеш меморије доступне за апликације и податке. За развојно окружење коришћен је *Eclipse* развојни алат верзије 2022-11 са инсталираним додатком који је намењен за развој апликација за JАВА смарт картице.

Неоптимизоване имплеметације предметних криптографских алгоритама преузете су из јавно доступних репозиторијума отворених изворних кодова. Најпре су на картицу инсталиране верзије неоптимизованих имплементација аплета и истестиране применом неменске апликације. Након тога, свака од имплеметација предметних криптографских алгоритама је оптимизована применом претходно наведених техника, инсталирана на JАВА паметну картицу и извршено поновно тестирање наменски имплементираном апликацијом. Прозор апликације са опцијама за тестирање ASCON криптографског алгоритма приказан је на слици 1.

У табели 1 приказани су резултати оптимизације временских перформанси, брзине реализације операције шифровања, сваког од изабраних криптографаких алгоритама на случајним подацима величине 16 бајта. Време шифровања прослеђених података је исказано у милисекундама.

**Табела 1:** Резултати временских перформанси (у ***ms***)

| | **Криптографски алгоритам** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **AEGIS** | **ACORN** | **ASCON** | **MORUS** | **CLOC** |
| пре оптимизације | 3.918 ms | 65.249 ms | 21.340 ms | 90.850 ms | 115 ms |
| после оптимизације | 3.805 ms | 61.808 ms | 5.546 ms | 5.725 ms | 85 ms |

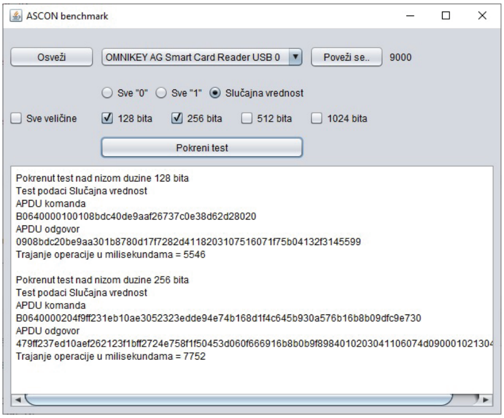
У табелама 2 и 3 приказани су резултати оптимизације просторних перформанси, тачније приказана су два аспекта просторних перформанси. Први аспект је исказан кроз упоредни приказ количине меморије потребне за операцију шифровања тестних података, табела 2. Други аспект је исказан кроз упоредни приказ величине инсталационог фајла који се инсталира на JАВА паметну картицу, табела 3. Величине су исказане у бајтима.

**Табела 2:** Количина меморије потребне за операцију шифровања (у ***B***)

| | **Криптографски алгоритам** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **AEGIS** | **ACORN** | **ASCON** | **MORUS** | **CLOC** |
| пре оптимизације | 208 B | 602 B | 128 B | 128 B | 385 B |
| после оптимизације | 180 B | 312 B | 120 B | 128 B | 78 B |

**Табела 3:** Количина меморије потребне за операцију шифровања (у ***B***)

| | **Криптографски алгоритам** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **AEGIS** | **ACORN** | **ASCON** | **MORUS** | **CLOC** |
| пре оптимизације | 12.954 B | 6.050 B | 6.300 B | 8.556 B | 7.850 B |
| после оптимизације | 12.586 B | 5.875 B | 6.354 B | 10.988 B | 7.251 B |



○ Sve "0" ○ Sve "1" ● Slučajna vrednost

☐ Sve veličine ☑ 128 bita ☑ 256 bita ☐ 512 bita ☐ 1024 bita

```
Pokrenut test nad nizom duzine 128 bita
Test podaci Slučajna vrednost
APDU komanda
B0640000100108bdc40de9aaf26737c0e38d62d28020
APDU odgovor
0908bdc20be9aa301b8780d17f7282d411820310751607 1f75b04132f3145599
Trajanje operacije u milisekundama = 5546

Pokrenut test nad nizom duzine 256 bita
Test podaci Slučajna vrednost
APDU komanda
B0640000204f9ff231eb10ae3052323edde94e74b168d1f4c645b930a576b16b8b09dfc9e730
APDU odgovor
479ff237ed10aef262123f1bff2724e758f1f50453d060f666916b8b0b9f8984010203041106074d090001021304
Trajanje operacije u milisekundama = 7752
```

**Слика 1:** Изглед прозора наменски развијене апликације

## 5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду описан је и имплементиран један приступ оптимизације имплементације криптографских алгоритама на JАВА паметним картицама. Такође, приказани су резултати мерења брзине извршавања операције шифровања и количина потребне меморије за њено спровођење. Ако се погледају резултати дати у табелама може се закључити да су код неких алгоритама смањена времена извршавања операције шифровања, код неких је смањена количина меморије док је код неких оптимизација дала резултате на оба поља. Неке оптимизације су довеле до занемарљивих побољшања, али је брзина извршавања операције шифровања или количина меморије потребна за њену реализацију код неких алгоритама смањена значајно. ACORN након оптимизације захтева само половину количине радне меморије него пре оптимизације, код CLOC алгоритма употреба меморије је 5 пута ефикаснија, ASCON се извршава 4 пута брже, а MORUS скоро 19 пута брже од оригиналне имплементације.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Hongjun W., Bart P. (2013). AEGIS: A Fast Authenticated Encryption Algorithm [online]. [Приступљено 10.01.2023.]. Доступно на адреси: https://eprint.iacr.org/2013/695.pdf.

[2] Hongjun W. (2016). ACORN: A Lightweight Authentication Cipher (v3) [online]. [Приступљено 18.01.2023.]. Доступно на адреси: https://competitions.cr.yp.to/round3/acornv3.pdf.

[3] Christoph D., Maria E.,Florian M., Martin C. (2016). ASCON v1.2 [online]. [Приступљено 18.01.2023.]. Доступно на адреси: http://competitions.cr.yp.to/round3/asconv12.pdf.

[4] Hongjun W., Tao H. (2016). The Authenticated Cipher MORUS (v2) [online]. [Приступљено 01.02.2023.]. Доступно на адреси: https://competitions.cr.yp.to/round3/morusv2.pdf.

[5] Tetsu I., Kazuhiko M, Jian G., Sumio M. (2014). CLOC: Authenticated Encryption for Short Input, *International Workshop on Fast Software Encryption* [online]. Graz University of Technology, 2014, pp. 149–167 [Приступљено 10.02.2023.]. Доступно на адреси: https://eprint.iacr.org/2014/157.pdf.

[6] Java Card: Programming Guidelines and Best Practise [online]. Ruim-Tools, 2006–2023 [последњи пут приступљено 25.01.2023.]. Доступно на адреси: http: //www.ruimtools.com/doc.php?doc=jc_best.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ДОНОШЕЊЕ ОДЛУКА БАЗИРАНО НА ХИБРИДНОМ FUZZY- DEMATEL- ANP МОДЕЛУ

# MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING BASED ON HYBRID FUZZY- DEMATEL-ANP MODEL

DRAGAN BOJANIĆ[1], MARINA BOJANIĆ[2], VLADIMIR RISTIĆ[3]

[1] Универзитет одбране у Београду – Институт за стратегијска истраживања,dragan.bojanic@mod.gov.rs
[2] Електротехничка школа „Никола Тесла“ у Панчеву, marina.bojanic@etsntesla.edu.rs
[3] Универзитет одбране у Београду – Институт за стратегијска истраживања, vladimir.ristic@mod.gov.rs

---

***Abstract:*** *The failure of critical infrastructure (CI) can be hazardous to the general population, the economy, and even national security. Disruption to one piece of the infrastructure often affects and causes failure of other dependent infrastructur. The paper proposes a method for quantifying and defining the interdependence between different CI components and their priorities, based on expert opinions. The proposed methods that combines the Decision Testing and Evaluation Laboratory (DEMATEL), Analytical Network Process (ANP) are successfully modified with Fuzzy logic theory in this paper. The paper provides a contribution to science in defence in making strategic decisions related to CI management, as well as increasing the resilience of CI systems and the societies that rely on them.*

***Keywords:*** *fuzzy logic, DEMATEL, ANP,MCDM, critical infrastructure.*

---

## 1. INTRODUCTION

A complex security environment requires a balance between the reactive and proactive activities of decision makers [1]. The progressive increase and unpredictability of modern security challenges, risks and threats (SCRT) originating from the turbulent geopolitical environment, as well as those immanent in the structures of the internal system, have brought numerous changes in the way modern states view national security. SCRT are identified „as part of the national security planning process and are reflected in the basic strategic and doctrinal documents (National Security Strategy, Defense Strategy and Doctrine of the Serbian Army) of the Republic of Serbia“ [2]. The SCRT identified in these documents often reflect the political inclinations and preferences of policy makers, who suffer from the same cognitive biases as anyone else, which can only be overcome through a scientific approach. As a result, these documents and decisions routinely overestimate the relative importance of some threats while underestimating others, or are simply presented as the phrase "challenge, risk and threat" without prioritizing or ranking them. Therefore, the imperative of safe and resilient critical infrastructure is imposed not only in response to SCRT (either those caused by climate change, political or economic situations), but also due to the networking and so-called interdependence between CIs at the national level. Acording to Low: „CI are systems, networks, facilities or their parts, the interruption of functioning or the interruption of the delivery of goods or services can have serious consequences on national security, health and lives of people, property, the environment, the safety of citizens, economic stability, i.e. endangering the functioning of the Republic of Serbia” [3]. CI is essential for producing and distributing a continuous flow of essential goods and services [4]. CI systems are strongly interdependent and interact on various levels, making them vulnerable to disasters and failures, and finally leading to losses. The development of hybrid analytical methods for evaluating CI interdependencies and priority is therefore essential for economic and social security, as they provide significant inputs for CI system governance and related decision-making.

CI enables society to carry out day-to-day activities which support the production and distribution of electric power, natural gas, and petroleum and includes telecommunications (information and communication), transportation, water supply systems, banking, and finance [5]. Securing CI makes society safe and resilient.

Currently, a large number of quantitative methods have been developed that help us to solve problems in all areas of life and work. These are primarily the methods of mathematical optimization. These are primarily the methods of mathematical optimization, especially multicriteria methods which are used to solve problems when it is observed from several aspects—criteria on the basis of which the decision is made [6]. Various frameworks and methods have been used to characterize and analyze the interdependencies CI, so far. Rinaldi proposed one of the most acknowledged and commonly applied frameworks for characterizing and analyzing CI interdependency [7]. Huang et al. (2014) proposed a hybrid method using a combination of Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) and Analytic Network Process (ANP) for analyzing CI interdependency that considers the feedback effects among various types of CIs [1, 8]. Laugé et al. observed that numerous analytical methods that were developed in earlier studies mainly focus on decision-making by a single decision-maker [9]. Individual judgment and preference ranking are crucial aspects of decision-making, hence must be considered as a part of a group decision-making process to generate objective and reliable multi-expert decisions [10].

This work proposes a hybrid method that integrates the original DEMATEL, ANP, and Fuzzy logic that takes a perspective from experts to assess the interdependence and importance of CI systems.

## 2. A HYBRID MCDM MODEL

The hybrid method that integrates Fuzzy logic, DEMATEL and ANP called (FDANP) (figure 1). The fuzzy set theory is usually combined with other theories to derive new theories [10,11]. Another important contribution of fuzzy set theory is that it provides a systematic procedure for transforming a knowledge base into a non-linear mapping.

Before the first step, it is important to define both the CI sector and sub-sector that will be the boundary of the problem analysis presented in Table 1 [3]. The second preliminary step is to define the Likert scale and the Trapezoidal Fuzzy Number (TFN) membership function for the degree of direct influence scale (figure 2). For this study we took the Likert scale from 0 to 4, meaning “no influence” to “very high influence”, respectively five TFNs. The reason why we took a five-point scale is because the ANP analysis is based on the DEMATEL method, which typically uses a 0–4 scale. From here, the data collected can be conducted in order to obtain experts perception on the degree of influence. The systematic steps are described in (figure 1):

Step 1: transforming expert perceptions into fuzzy numbers
Step 2: generate direct relation average matrix
Step 3: calculate initial direct influence matrix
Step 4: derive total influence matrix
Step 5: generating Influential Network Relationship Map
Step 6: formation of an unweighted super matrix
Step 7: obtain weight super matrix
Step 8: calculate overall priorities with limiting process method

## 3. ANALYSIS AND DISCUSSION

Table 2 presents the results obtained using the DANP method with a single expert and FDANP with multiple experts for making decisions. As seen in Tables 2a and 2b, the effect of the inter-dependency value of CI sectors does not substantially change because all CI sectors have negative

($d_i$-$r_i$) values. The negative ($d_i$-$r_i$) values for energy, information and telecommunication, transportation and water infrastructure sectors indicate that all four of these infrastructure sectors are affected by other infrastructure sectors.

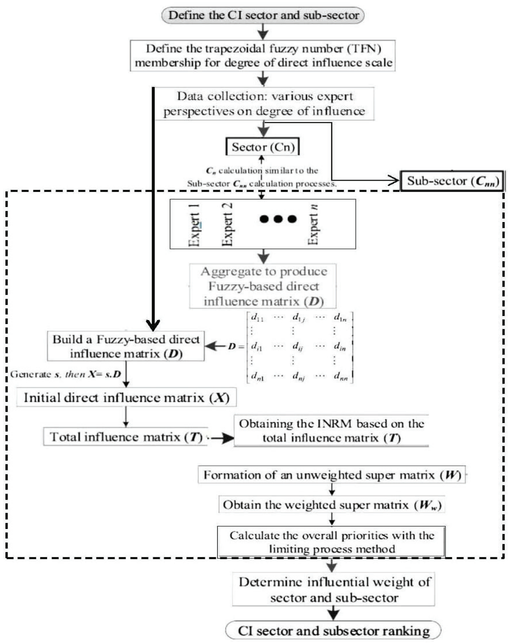


**Figure 1**: hybrid method FDANP

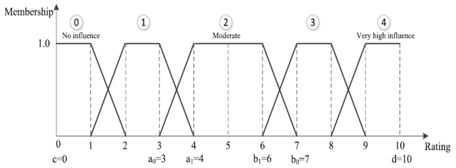


**Figure 2:** Trapezoidal fuzzy membership

In this case, by both methods, all four infrastructure sectors depend on each other. The results obtained using the hybrid FDANP method reveal that two sub-sectors (i.e., watershed C21 and ground transportation C41) have different influence values. With respect to the CI sub-sector analysis, both analytical methods have similar (di-ri) values.

Interestingly, two sub-sectors (C21 and C41) have dissimilar patterns of ($d_i$-$r_i$) outcomes. According to the DANP simulation, C21 infrastructure has a negative ($d_i$-$r_i$) value, showing that it is affected by other infrastructures.

**Table 1:** Defined sectors and sub-sectors of critical infrastructure

| Sector | Sub-sector | Explanation |
|---|---|---|
| Energy ($C_1$) | Electricity (C11) | Power plants, transmission, distribution and control |
| | Oil (C12) | Importing oil, refineries, storage and transmission syst. |
| | Natural gas (C13) | Storage, control and piping systems |
| Water (C2) | Watershed (C21) | Watershed and upstream areas of major rivers |
| | Dams (C22) | Reservoirs and pumping stations |
| | Water treatment (C23) | Water treatment plants, pipelines and pumping stations |
| | Water supply (C24) | Service piping systems and control centers |
| IT (C3) | Information (C31) | Software, hardware, cyber-security and internet |
| | Telecommunication (C32) | Telecommunications, submarine communication cables, ground stations and broadcasting systems |

| | | |
|---|---|---|
| Transportation (C4) | Ground (C41) | Highways, transfer centers, railroads, bridges and tunnels |
| | River (C42) | Shipping ports and related facilities |
| | Aviation (C43) | Airports, air traffic control centers, control towers |
| | Postal services and logistics (C44) | Major distribution centers and related facilities |

**Table 2** Sums of influences on and exerted by CI sector and sub-sectors.

a. Conventional method (DANP)

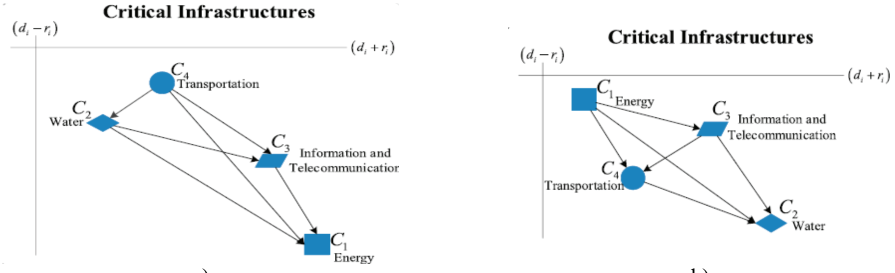
| Sector | $r_i$ | $d_i$ | $d_i+r_i$ | $d_i-r_i$ | Sub-sector | $r_i$ | $d_i$ | $d_i+r_i$ | $d_i-r_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Energy (C1) | 21.630 | 9.351 | 30.981 | -12.278 | (C11) | 6.282 | 6.166 | 12.448 | -0.116 |
| | | | | | (C12) | 5.853 | 7.495 | 13.348 | 1.642 |
| | | | | | (C13) | 6.988 | 6.699 | 13.687 | -0.290 |
| Water (C2) | 19.093 | 9.088 | 28.181 | -10.005 | (C21) | 6.623 | 6.506 | 13.129 | -0.117 |
| | | | | | (C22) | 6.302 | 6.270 | 12.571 | -0.032 |
| | | | | | (C23) | 7.312 | 6.795 | 14.107 | -0.517 |
| | | | | | (C24) | 6.953 | 6.985 | 13.938 | 0.032 |
| IT (C3) | 20.972 | 9.622 | 30.594 | -11.351 | (C31) | 6.913 | 7.484 | 14.397 | 0.572 |
| | | | | | (C32) | 7.131 | 6.862 | 13.993 | -0.269 |
| Transportation (C4) | 18.680 | 10.127 | 28.807 | -8.553 | (C41) | 5.507 | 5.645 | 11.153 | 0.138 |
| | | | | | (C42) | 5.733 | 5.793 | 11.526 | 0.059 |
| | | | | | (C43) | 6.664 | 5.910 | 12.574 | -0.755 |
| | | | | | (C44) | 6.265 | 5.916 | 12.180 | -0.349 |

b. Proposed method (FDANP)

| Sector | $r_i$ | $d_i$ | $d_i+r_i$ | $d_i-r_i$ | Sub-sector | ri | di | di+ri | di-ri |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Energy (C1) | 12.345 | 6.903 | 19.248 | -5.442 | (C11) | 6.962 | 6.872 | 13.834 | -0.090 |
| | | | | | (C12) | 6.321 | 7.718 | 14.039 | 1.397 |
| | | | | | (C13) | 7.544 | 7.153 | 14.697 | -0.391 |
| Water (C2) | 16.265 | 7.325 | 23.590 | -8.940 | (C21) | 7.127 | 7.379 | 14.506 | 0.253 |
| | | | | | (C22) | 6.813 | 6.652 | 13.465 | -0.161 |
| | | | | | (C23) | 7.604 | 7.186 | 14.790 | -0.418 |
| | | | | | (C24) | 7.488 | 7.488 | 14.936 | 0.041 |
| IT (C3) | 15.339 | 7.214 | 22.553 | -8.125 | (C31) | 7.357 | 7.983 | 15.340 | 0.626 |
| | | | | | (C32) | 7.432 | 7.041 | 14.472 | -0.391 |
| Transportation (C4) | 15.067 | 6.066 | 21.134 | -9.001 | (C41) | 6.133 | 6.103 | 12.236 | -0.030 |
| | | | | | (C42) | 6.509 | 6.708 | 13.218 | 0.199 |
| | | | | | (C43) | 7.274 | 6.520 | 13.794 | -0.754 |
| | | | | | (C44) | 6.948 | 6.669 | 13.617 | -0.279 |

However, FDANP yields a positive value of (di-ri) for C21, indicating that C21 is a sub-sector that influences others. Hence, both methods output dissimilar ($d_i$-$r_i$) values of C41. Furthermore, following the DANP computation, C41 is an influencing CI sub-sector while according to FDANP, C41 is an affected CI sub-sector.

The network-influence relationship can be visualized by mapping the dataset of ($d_i$+$r_i$, $d_i$-$r_i$). The mapping can be regarded as an the Influential Network Relationship Map (INRM) of the four sectors and sub-sectors, as shown in Figs. 3 (a) and (b), respectively. Therefore, this INRM can be analyzed using the numerical data that were obtained from the previously discussed data analysis. The arrows indicate directions of influence. In Figs. 3 (a) and (b), the sectors or sub-sectors with positive net influence are grouped as causes while those with negative net influences are grouped as effects.



a) b)

**Figure 3.** Influential network-relationship map (INRM) generated using DANP and FDANP.

Using FDANP method, the simulation and computation results generated very dissimilar INRMs of the CI sectors and sub-sectors compare to those generated by using the DANP method. According to the conventional method, C21 is a CI sub-sector that is affected by other CI sub-sectors while C41 affects a CI sub-sector. Hence, based on the results, C21 can be inferred to be a CI sub-sector that affects other CI sub- sectors and C41 is a CI sub-sector that is affected by other CI sub-sectors (negative value of (di-ri)).

**Table 3** Comparison between DANP and FDANP outcomes.

| Sector | Local weight | | Ranking | | Order | Sub-sector | Local weight | | Ranking | | Order |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | DANP | FDANP | DANP | FDANP | | | DANP | FDANP | DANP | FDANP | |
| Energy ($C_1$) | 0.246 | 0.206 | 3 | 4 | ▼ | (C11) | 0.077 | 0.063 | 8 | 12 | ▼ |
| | | | | | | (C12) | 0.068 | 0.060 | 11 | 13 | ▼ |
| | | | | | | (C13) | 0.084 | 0.068 | 7 | 9 | ▼ |
| Water (C2) | 0.280 | 0.278 | 1 | 1 | ● | (C21) | 0.067 | 0.066 | 12 | 10 | ▲ |
| | | | | | | (C22) | 0.063 | 0.063 | 13 | 11 | ▲ |
| | | | | | | (C23) | 0.072 | 0.071 | 9 | 7 | ▲ |
| | | | | | | (C24) | 0.070 | 0.069 | 10 | 8 | ▲ |
| IT (C3) | 0.255 | 0.261 | 2 | 2 | ● | (C31) | 0.119 | 0.121 | 2 | 2 | ● |
| | | | | | | (C32) | 0.121 | 0.124 | 1 | 1 | ● |
| Transportation (C4) | 0.219 | 0.255 | 4 | 3 | ▲ | (C41) | 0.084 | 0.105 | 6 | 6 | ● |
| | | | | | | (C42) | 0.090 | 0.107 | 5 | 5 | ● |
| | | | | | | (C43) | 0.107 | 0.120 | 3 | 3 | ● |
| | | | | | | (C44) | 0.096 | 0.116 | 4 | 4 | ● |

▲ and ▼indicate a change in rank order (increasing and decreasing, respectively); ● indicates no change in rank order.

The limit of the super matrix is estimated to obtain each CI sector and sub-sector (Table 3) presents the absolute local weights and rankings of individual CI sectors and sub-sectors, obtained using both DANP and FDANP. The DANP method yields ‘water’ infrastructure C2 as having the highest weight of any CI sector; this result can be understood with reference to the INRM; it is followed by information and telecommunication C3, energy C1 and the transportation C4, which has the least weight. Using the hybrid FDANP method the ranking of CI sector weights is as follows: water C2 information and telecommunication C3, transportation C4, and energy C1. The CI subsector level FDANP analysis discavered that telecommunication C32 has the highest influence weight and is followed by information C31, aviation C43, postal services and logistics C44, river C42, ground C41, and so on. Hence, the simulated outcomes achieved using hybrid FDANP include a ranking of CI subsectors.

## 4. CONCLUDING

The DEMATEL and ANP methods with fuzzy set theory are successfully modified in this paper, which is presented on the problem of assessing both the interdependency and priority of CI. The FDANP accounts for the fact that with respect to complex CI interdependency, all CI sectors are simultaneously affected by other CI sectors and subsectors. Considering numerous experts in making a crucial decision, FDANP present a very suitable area for considering uncertainty following decision-making processes. The presented hybrid method demonstrated the superiority in dealing with uncertainty in the context of ambiguous, subjectivity, impreciseness, and vagueness, when most input data are relied solely on expert judgment.

It has been shown that, using different quantitative methods that are integrated into a unique model of input data analysis that is processed in order to capture the diversity of expert opinion, significantly affects the change in the ranking order to a large extent. The presented analyses also shown that the FDANP can determine the cause and effect of the CI sector and subsector's.

## LITERATURE

[1] Ninković, V. M. (2021), Critical infrastructure resilience: National approaches in the United States of America, the United Kingdom and Australia. *Zbornik radova Pravnog fakulteta, Novi Sad*, *55*(4), 1205-1225. https://doi.org/10.5937/zrpfns55-30333

[2] Bojanić D., (2022), The theoretical and methodological analysis of challenges, risks and threats in modern theory of national security, Vojno delo, Institut za strategijska istraživanja 2/2022, DOI broj: 10.5937/vojdelo2202001B

[3] Law on critical infrastructure ("Official Gazette of RS", No. 87/2018)

[4] Huang C.-N., Liou J.J.H., Chuang Y.-C., (2014), A method for exploring the interdependencies and importance of critical infrastructures, Knowl. Base Syst. 55 (0) 66–74.

[5] Serre D. , Heinzlef C. , (2018), Assessing and mapping urban resilience to floods with respect to cascading effects through critical infrastructure networks, Int. J. Disaster Risk Reduct. 30 235–243.

[6] Jamwal A., Agrawal R., Sharma M., Kumar V., (2021), Review on multi-criteria decision analysis in sustainable manufacturing decision making. Int. J. Sustain. Eng., 14, 202–225.

[7] Rinaldi S.M. (2004), Modeling and simulating critical infrastructures and their inter-dependencies, System Sciences, Proceedings of the 37th Annual Hawaii International Conference on, 2004.

[8] Trivedi A., (2018), A multi-criteria decision approach based on DEMATEL to assess determinants of shelter site selection in disaster response, Int. J. Disaster Risk Reduct. 31 722–728.

[9] Laugé A., Hernantes J., Sarriegi J.M., (2015), Critical infrastructure dependencies: a holistic, dynamic and quantitative approach, Int. J. Crit. Infrastruct. Protect. 8 16–23.

[10] Deng X., Jiang W., (2019), D number theory based game-theoretic framework in adversarial decision making under a fuzzy environment, Int. J. Approx. Reason. 106 194–213

[11] Pribićević, I., Doljanica, S., Momčilović, O., Kumar, Das, D., Pamučar, D., Stević, Ž., (2020), Novel Extension of DEMATEL Method by Trapezoidal Fuzzy Numbers and D Numbers for Management of Decision-Making Processes, Mathematics, 8(5), 812.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50. СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА ПОБОЉШАНОГ ПРОРАЧУНА СИГУРНОСНИХ РАСТОЈАЊА ПРИЛИКОМ УНИШТАВАЊА УБОЈНИХ СРЕДСТАВА ДЕТОНАЦИЈОМ НА ОТВОРЕНОМ

# APPLICATION OF IMPROVED EXPLOSIVE SAFETY DISTANCE CALCULATION FOR THE EXPLOSIVE ORDNANCE DISPOSAL BY OPEN DETONATION TECHNIQUE

ЗОРАН БАЈИЋ [1], АЛЕКСАНДАР РАДОСАВЉЕВИЋ [1], САША АЛЕКСИЋ [1], ЈОВИЦА БОГДАНОВ [2], ЗЛАТЕ ВЕЛИЧКОВИЋ [1]

[1] Универзитет одбране, Војна академија, Београд, zoran.bajic@va.mod.gov.rs
[2] Универзитет одбране, Београд

---

***Резиме:*** *Потреба за пројектовањем места за уништавање убојних средстава (УбС) детонацијом условљена је податком да Војска Србије не располаже уређеним и одобреним сталним местом за безбедно уништавање убојних средстава односно неексплодираних УбС која садрже преко 100 кг експлозива. Уништавање оваквих УбС могуће је на унапред одабраним локацијама након извиђања на којима је потребно извршити прорачуне зона опасности односно сигурносних растојања. Приликом прорачуна треба узимати вредности за најнеповољнија УбС за уништавање од свих планираних јер она дају највећа безбедносна растојања. Постојећи војни прописи који уређују ову област дају фиксна растојања која реално не узимају у обзир масу експлозивног пуњења, масу УбС, фрагментацију убојног средства односно долет опасних парчади као ни дејство топлотног флукса ни јачине звука експлозије. Уништавање предметних УбС детонацијом на месту за које се врши прорачун зона опасности потребно је посматрати кроз све опасности које се јављају по људство, инфраструктуру, објекте и природу. У раду је дат предлог пројектовања привременог или сталног мета за уништавање УбС детонацијом у складу са важећим међународним препорукама, прописима и стандардима.*

***Кључне речи:*** *Уништавање УбС, Сигурносна растојања, Детонација на отвореном, Пиротехничка безбедност.*

***Abstract:*** *The requirement to design a place for the destruction of explosive ordnance (XO) by detonation is conditioned by the fact that the Serbian Army does not have an organized and approved permanent place for the safe destruction of XO and unexploded XO (UXO) containing more than 100 kg of explosives. Destruction of such XO is possible at pre-selected locations after reconnaissance, where it is necessary to perform calculations of danger zones, i.e. explosive safety distances. When calculating, one should take the values for the most unfavourable XO for destruction out of all the planned ones, because they give the highest values of explosive safety distances. The existing military regulations governing this area give fixed distances that de facto do not take into account the mass of the explosive charge, the mass of XO, the fragmentation of the XO, i.e. the range of dangerous fragments, as well as the effect of heat flux and the noise volume of the explosion. The disposal of the XO by open detonation at the place for which the hazard zone calculation is performed must be viewed through all the dangers that occur to people, infrastructure, facilities and the environment. The paper presents a proposal for designing a temporary or permanent place for the XO disposal by open detonation in accordance with valid international recommendations, regulations and standards.*

***Keywords:*** *Explosive ordnance disposal, Explosive safety distance, Open detonation, Explosive safety.*

---

## 1. УВОД

Под појмом уништавања убојних средства и других експлозивних материјала подразумева се одговарајући процес (детонација, спаљивање или други видови уништавања) којима се они доводе у стање трајне и потпуне безопасности и нешкодљивости за људски и друге животе и околину [1].

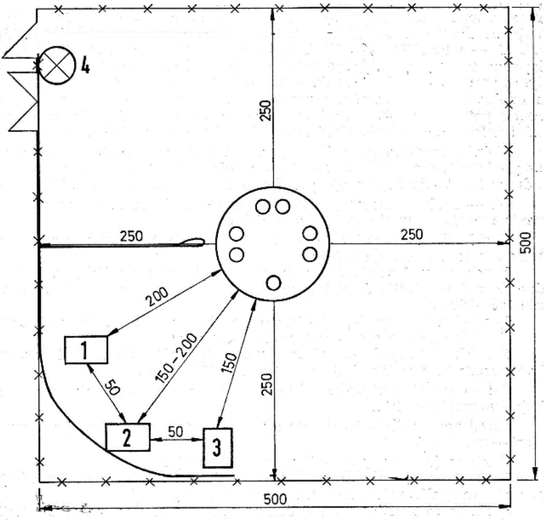
У зависности од количине експлозивних материја у УбС које се уништава, општег стања УбС у погледу могућности безбедног транспортовања и других фактора, УбС се детонацијом уништавају на сталним местима за уништавање; на привременим (повременим) местима за уништавање и на случајним (затеченим) местима за уништавање. Сваки од ових начина уништавања има своје специфичности како у погледу организације рада и мера безбедности, тако и у самом поступку по фазама рада. Уништавање детонацијом на површини земље или у фугаси представља класични поступак уништавања, познат под називом „open detonation“. Уништавање УбС детонацијом у фугаси покривеној одговарајућим слојем земље даје минимизовано разлетања фрагмената УбС након детонирања [1-3].

У раду је дат начин прорачуна сигурносних растојања приликом уништавања УбС детонацијом. Сигурносна растојања представљају она растојања од места потенцијалне експлозије на којима је ризик смањен до прихватљиве вредности. Она, дакле, никако не представљају растојања где апсолутно не постоји ризик од повређивања односно оштећења објеката. Приликом уништавања убојних средстава детонацијом, јављају се следеће опасности по људство, објекте, инфраструктуру и природну средину: Опасност од дејства ударног таласа (УТ) експлозије; Опасност од дејства одбачених фрагмената са места експлозије; Опасност од пожара и дејства топлотног зрачења и Опасност од буке настале експлозијом [1, 4].

## 2. МЕСТО ЗА УНИШТАВАЊЕ УБОЈНИХ СРЕДСТАВА ДЕТОНАЦИЈОМ

Важећи прописи у Војсци Србије дефинишу стално уређено место за уништавање УбС детонацијом као земљишни простор одређене величине (500x500 m) који најмање 150 m мора да буде удаљен од: складишта експлозивних материјала, појединачних насељених кућа, далековода, трансформаторских станица, предузећа, важнијих и јавних комуникација и сличних објеката. Од насељених места овај простор мора да буде удаљен најмање 2500 m [2].

Ради несметаног и безбедног рада, стална места за уништавање морају да имају сталне објекте приказане на Слици 1 [2].



**Слика 1:** Стално место за уништавање са припадајућим објектима
1 – склониште за људство; 2 – заклон за опрему; 3 – место за активирање; 4 – заклон за чувара

Сличан изглед места за уништавање УбС је дат и у препоруци Уједињених нација [4]. Оба прописа дају фиксна растојања која не одражавају реалну ситуацију, јер не зависе од врсте УбС, масе УбС, масе и врсте експлозивног пуњења, конфигурације терена и др. Стога је за потребе пројектовања израде привремених или сталних места за уништавање УбС детонацијом неопходно у обзир узети све релевантне параметре.

## 2.1. Прорачун сигурносних растојања од дејства ударног таласа

За израчунавање натпритиска и импулса ударног таласа експлозије (Δp и I) за одређену количину експлозивне материје у УбС (m, у kg) које се активира на површини земље на одређеном растојању (r, у m), најпознатије су емпиријске формуле Садовског (1) [5] и Кингери-Булмаш (2) [6].

$$\Delta p = 1.02\frac{m^{\frac{1}{3}}}{r} + 4.36\frac{m^{\frac{2}{3}}}{r^{2}} + 14\frac{m}{r^{3}} \tag{1}$$

$$\Delta p, \mathbf{I} = \exp\left(\mathbf{A} + \mathbf{B}\ln\mathbf{Z} + \mathbf{C}(\ln\mathbf{Z})^{2} + \mathbf{D}(\ln\mathbf{Z})^{3} + \mathbf{E}(\ln\mathbf{Z})^{4}\right) \tag{2}$$

Где је вредност натпритиска у kPa, импулса у Pa·s·kg$^{-1/3}$, скалирано растојање Z у m·kg$^{-1/3}$ док су A, B, C, D и E емпиријски коефицијенти. У табели 1 се налазе вредности натпритиска ударног таласа који изазивају одређени степен повреде људског организма односно оштећења објеката [6], на основу којих се коришћењем израза 1 или 2 долази до вредности сигурносног растојања за дату количину експлозивног пуњења.

**Табела 1:** Вредности натпритиска УТ које изазивају неки од ефеката на човека или објекте

| **Р.бр.** | **Врста дејства** | **Ефекат** | **Вредност натпритиска УТ (kPa)** |
|---|---|---|---|
| 1. | Дејство натпритиска УТ на човека | Пуцање бубне опне, вероватноћа 1% | 34,5 |
| | | Оштећење плућа | 206 |
| | | Смрт | 690 |
| 2. | Дејство натпритиска УТ на објекте | Пуцање стакала | 3,5-7 |
| | | Озбиљно оштећење објеката | 28 |
| | | Потпуно уништење објеката | 165 |

## 2.2. Прорачун сигурносних растојања од дејства фрагмената

Фрагменти настали од елемената УбС (примарни) и од околне средине (секундарни) такође представљају битан, а понекад и доминантан, ефекат дејства експлозије [4]. Постојећи пропис [2] омогућава коришћење табеле 2 за одређивање сигурносних растојања од дејства фрагмената.

**Табела 2:** Удаљености разлетања парчади при детонацији на површини земље и при детонацији у фугаси за неке врсте УбС

| **Р.бр.** | **Врста УбС** | **Удаљености разлетања парчади [m]** | |
|---|---|---|---|
| | | **При детонацији на површини** | **При детонацији у фугаси** |
| 1. | Ручне бомбе, мине и УбС чија је дебљина кошуљице-облоге до 3 mm | До 300 | До 150 |
| 2. | Артиљеријски и минобацачки пројектили и авио-бомбе масе до 10 kg | До 750 | До 375 |

| Р.бр. | Врста УбС | Удаљености разлетања парчади [m] | |
|---|---|---|---|
| | | При детонацији на површини | При детонацији у фугаси |
| 3. | Артиљеријски и минобацачки пројектили и авио-бомбе масе до 20 kg | До 500 | До 250 |
| 4. | Артиљеријски и минобацачки пројектили и авио-бомбе масе до 50 kg | До 1200 | До 600 |
| 5. | Артиљеријски и минобацачки пројектили и авио-бомбе масе до 100 kg | До 1500 | До 750 |
| 6. | Авио-бомбе масе до 500 kg | До 2000 | До 1000 |
| 7. | Авио-бомбе масе преко 500 kg | До 2500 | До 1250 |

У напомени која иде уз табелу 2 стоји да се наведене удаљености требају користити за одређивање растојања до појединачних или групних заклона приликом уништавања неексплодираних УбС.

У препорукама УН [6], које су дате на основу једноставног емпиријског модела оцене параметара кретања фрагмената, се даје следећи израз за одређивање вертикалне зоне опасности (V, у m) и хоризонталне опасности (D, у m) за долет опасних парчади при уништавању убојног средстава укупне масе (m, у kg) детонацијом на отвореном.

$$V = 470\ m^{0,2} \qquad (3)$$

$$D = 634\ m^{0,167} \qquad (4)$$

### 2.3. Прорачун сигурносних растојања од дејства топлотног ефекта

Топлотни ефекат експлозије који се изражава кроз вредност изложености топлотном зрачењу има граничну вредност од 167 $kJ/m^2$ [6]. За прорачун те граничне вредности се користи израз 5.

$$D = m^{0,44} \qquad (5)$$

### 2.4. Прорачун сигурносних растојања од звучног дејства експлозије

Гранична вредност штетне јачина звука експлозије износи 140 dB [6]. За прорачун сигурносног растојања се користи израз 6.

$$D = 215\ m^{0,33} \qquad (6)$$

## 3. АНАЛИЗА ПРИМЕРА ПРОРАЧУНА СИГУРНОСНИХ РАСТОЈАЊА

За потребе анализе предлога новог начина прорачуна сигурносних растојања узет је пример уништавања детонацијом на површини земље једног тренутно фугасног пројектила калибра 152 mm ОФ-540 који има 6,25 kg експлозивног пуњења од ТНТ и има укупну масу 40 kg и једне авио бомбе ФАБ-250 која има 105 kg експлозивног пуњења од ТНТ и има укупну масу 250 kg. Израчунате вредности, на основу израза 1-6 су дате у табели 3, заједно са вредностима које се налазе у постојећим прописима ако постоје.

**Табела 3:** Израчуната и постојећа сигурносна раздвајања за дата УбС

| Р.бр. | Врста сигурносног растојања | Израчунато растојање за ОФ-540 [m] | Израчунато растојање за ФАБ-250 [m] | Постојеће растојање [m] |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Пуцање бубне опне, вероватноћа 1% | 11 | 29 | 150-200 |
| 2. | Пуцање стакала | 62 | 158 | 150 |

| Р.бр. | Врста сигурносног растојања | Израчунато растојање за ОФ-540 [m] | Израчунато растојање за ФАБ-250 [m] | Постојеће растојање [m] |
|---|---|---|---|---|
| 3. | Озбиљно оштећење објеката | 13 | 33 | 150 |
| 4. | Потпуно уништење објеката | 5 | 13 | 150 |
| 5. | Вертикална зона опасности за парчади | 578 | 1481 | - |
| 6. | Хоризонтална зона опасности за парчади | 1173 | 1592 | 1200/2000 |
| 7. | Дозвољен топлотни ефекат | 2 | 8 | - |
| 8. | Дозвољена јачина звука | 396 | 1014 | - |

Поређењем израчунатих вредности сигурносних растојања за дате примере УбС и фиксних вредности које су дате у пропису [2] може се закључити да је неопходно радити прорачун сигурносних растојања за сваки случај уништавања понаособ као и да је потребно проширити прорачун за добијање сигурносних растојања за вертикалну зону опасности од парчадног дејства као и за дозвољену јачину звука (буке). Осим тога, примери прорачуна показују да и за релативно велику количину експлозива, као у ФАБ-250 од 105 kg, сигурносна растојања која се добијају за праг повређивања људског организма (пуцање бубне опне) су мања 5 до 7 пута у односу на прописана. Када је у питању оштећење објеката гледано кроз пуцање стакала за први пример УбС са мањом количином експлозива се добија око 2,5 пута мања вредност растојања док се за друго разматрано УбС добија приближна вредност сигурносног растојања као у пропису. Код хоризонталне зоне опасности разлетања парчади, израчунате вредности су у сагласности са вредностима сигурносних растојања која већ постоје, узимајући у обзир да се димензије ове зоне иначе врло тешко могу утврдити поуздано. Прорачун сигурносних растојања када је у питању дозвољени топлотни ефекат се може занемарити.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Безбедно управљање технологијом уништавања УбС подразумева, између осталог, и добро познавање различитих дејстава експлозије и њихових утицаја на околину и у потпуности треба бити засновано на приступу анализе ризика. Исправне одлуке везане за управљање ризиком се могу донети само уз познавање низа научно прихваћених математичких израза и емпиријских података. Примери прорачуна и актуелни међународни прописи показују да за постојеће одређивање сигурносних растојања није пожељно користити оквирне или предефинисане вредности већ је неопходно вршити прорачун који у обзир узима већи број параметара, као што су маса експлозивног пуњења, маса УбС, начин активирања УбС, врсте дејстава експлозије, врсте објеката који су изложени експлозији и др. Неопходно је извршити ажурирање постојећих војних и других прописа који се тичу ове проблематике, а нарочито због потребе безбедног уништавања неексплодираних УбС на затеченим местима и УбС уопште.

## ЗАХВАЛНИЦА

Аутори се захваљују подршци са пројекта Универзитета одбране у Београду VA-TT/1/22-24.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Милосављевић, Д. (2012). *Уништавање УбС*, Технички семинар Безбедност у раду са убојним средствима, складиштење, чување и уништавање убојних средстава, ТРЗ Крагујевац.

[2] Техничко упутство, TU-V, 9 (1980). Уништавање муниције, минско-експлозивних средства и других експлозивних материјала, Техничка Управа, ССНО, Београд.

[3] Wilkinson, J., и Watt, D. (2005). *Review of demilitarisation and disposal techniques for munitions and related material*s, Munitions Safety Information Analysis Center, NATO, Bruxelles, Belgique.

[4] INTERNATIONAL AMMUNITION TECHNICAL GUIDELINES (2021). *IATG 10.10 Demilitarization, destruction and logistic disposal of conventional ammunition*, United Nations Office for Disarmament Affairs.

[5] Bajić, Z., Bogdanov, J., и Jeremić, R. (2009). Blast effects evaluation using TNT equivalent. *Scientific technical review*, 59(3-4), 50-53.

[6] INTERNATIONAL AMMUNITION TECHNICAL GUIDELINES (2021). *IATG 01.80 Formulae for ammunition management*, United Nations Office for Disarmament Affairs.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# СПОСОБНОСТ БРЗЕ И ПРАВИЛНЕ ПЕРЦЕПЦИЈЕ САОБРАЋАЈНЕ СИТУАЦИЈЕ УЧЕНИКА СРЕДЊЕ ВОЈНЕ ШКОЛЕ

# MILITARY HIGH SCHOOL STUDENTS' ABILITY OF FAST AND CORRECT PERCEPTION OF TRAFFIC SITUATION

ИВАНА НИКОЛИЋ[1], ЈЕЛЕНА РАЈЧИЋ[2]

[1] Универзитет одбране, Војна академија, Београд, ivananikolici62016@gmail.com
[2] Универзитет одбране, Војна академија, Београд, jelenarajcic1112@gmail.com

---

***Резиме:*** *Благовремено и исправно запажање у саобраћају обезбеђује правовремено доношење одлуке и предузимање радњи које омогућавају безбедну и удобну вожњу. Запажање возача зависи од психофизичког стања возача, али и од стања саобраћајница и околине. У овом раду представљени су резултати истраживања брзине и тачности визуелних способности опажања, способности сагледавања саобраћајне ситуације и периферне перцепције у саобраћају код ученика средње војне школе, добијени тестирањем на VIENNA test system-у и применом SAW методе.*

***Кључне речи:*** *перцепција, саобраћај, ученици, SAW метод*

***Abstract:*** *Timely and correct observation in traffic ensures timely decision-making and taking actions that enable safe and comfortable driving. The driver's perception depends on the psychophysical condition of the driver, but also on the condition of the roads and the environment. This paper presents the results of the research on the speed and accuracy of visual perception abilities, the ability to correctly overview the traffic situation and peripheral perception of students of the secondary military school, gained by VIENNA test system and SAW method application.*

***Keywords:*** *perception, traffic, students, SAW method*

---

## 1. УВОД

У систему човек – возило – пут – околина, човек представља најважнију карику која повезује возило са путем и околином, омогућавајући безбедно учешће у саобраћају. Човек је једини свестан елемент система, који своје одлуке и активности може прилагодити осталим елементима. Ипак, најчешће, када се говори о фактору човек, мисли се на возача. Од психофизичког стања возача зависе његове перформансе као фактора безбедности у неком саобраћајном току. Психофизичко стање, пак, поред осталог, условљено је здравственим стањем возача, старошћу возача, његовом одморношћу, стањем чула - првенствено чула вида, односно перцепције итд.

Посебно рањива категорија учесника у саобраћају су млади. Према статистичким подацима, један од водећих узрока смртности младих, узраста од 18 до 24 године, јесу саобраћајне незгоде [7]. У том узрасном добу, највише младих стиче возачку дозволу. За разумевање природе и узрока проблема нужно је упознати се и са неурофизиолошким карактеристикама младих људи тог узраста. Биолошки посматрано, за одређене аспекте понашања у саобраћају одговорност сноси префронтални кортекс мозга и везе које он остварује са осталим деловима мозга. Наиме, префронтални кортекс је део мозга који се релативно споро развија (између 25 и 30 године живота се у потпуности развије), а како је овај део мозга обавља активности које се односе на процену ризика, приоритетизацију, организовање, перцепцију, контролу импулса и др., то се код те популације може очекивати слабија способност перцепције опасности и других значајних елемената на путу.

У овом раду приказани су резултати истраживања перцептивних способности у популацији ученика средње војне школе, у смислу њихове брзине и тачности визуелних способности опажања, способности сагледавања саобраћајне ситуације и периферне перцепције.

## 2. ЗАПАЖАЊЕ ВОЗАЧА И ВРЕМЕ РЕАКЦИЈЕ ВОЗАЧА

Преко 95% информација из окружења у саобраћају возачи примају чулом вида. Како је у овом раду у фокусу популација младих људи, претпоставка је да чуло вида не може бити узрок евентуалних пропуста у перцепцији. Одређене студије показују да се суштински узроци крију у смањеном капацитету пажње приликом неочекиваних захтева у саобраћају, у лошој способности предвиђања ситуација и препознавања опасности у саобраћају [1].

Уопштено посматрано, два су начина перципирања саобраћајних ситуација и процесуирања тако прикупљених информација, код младих возача. У првом приступу, познатом као приступ од горе надоле (top-botom), кључну улогу у стварању саобраћајне слике имају пажња, искуство, мотивација и очекивања. Евидентно је да је возачко искуство веома важан фактор код оваквих возача, јер што је ситуација сличнија некој ситуацији коју су они већ доживели, то је њихова перцепција потпунија и тачнија. Њихова очекивања усмеравају њихову пажњу на локације и елементе саобраћајне ситуације који ће им пружити потребне информације. На овај начин се ресурси пажње ефикасно алоцирају, а релевантне информације активно траже. Проблем настаје, када због недовољног искуства млади возачи погрешно протумаче саобраћајну ситуацију, и предузму неадекватну акцију.

Са друге стране, супротан процес трагања за информацијама је од дна ка врху (botom-up). У овом приступу пажња се усмерава под утицајем надражаја (стимулуса) из околине, а пређашње исукуство возача је мање значајно. За овакве возаче је карактеристично да лакше уочавају покретне објекте од мирујућих, јер су покретни објекти уочљивији периферним видом. У том смислу су видљивији и објекти који имају израженије и специфичније карактеристике (боја, облик и др.).

У реланим ситуацијама, млади возачи нису „опредељени“ само за једну стратегију прикупљања информација о саобраћајној ситуацији, већ упоредо користе оба приступа, сходно личним карактеристикама и специфичностима.

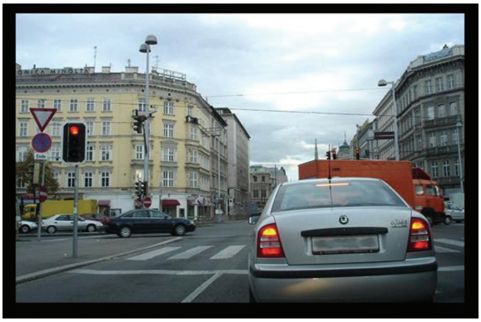
У литератури су присутне бројне студије о перцепцији, склоностима и способностима младих возача, у којима се утврђује повезаност различитих фактора са способностима возача. Тако је Rogé [5] истраживао утицај старости на опажање саобраћајних знакова и услед старења на видно поље возача. Liu [4] је, помоћу инструмента који прати померање очију, анализирао просечно време задржавања пажње возача на неком објекту. Један од интересантних закључака овог истраживања је да визуелни изглед саобраћајног знака има већи утицај на возача почетника, него на искусног возача. Schnell [6] је истраживао утицај осветљености и величине саобраћајних знакова, на време уочавања и препознавањае истих. Установио је да већи и боље осветљени знакови бивају брже и прецизније уочени од стране младих возача. Huang [2] је дошао до сазнања да пол и ниво образовања такође имају утицај на разумевање саобраћајних знакова. Li [3] је анализирао утицај распореда и међусобног положаја саобраћајних знакова, као и графичког дизајна и величине саобраћајних знакова на правовременост перцепције истих, итд.

## 3. ТЕСТИРАЊЕ ПЕРЦЕПТИВНИХ СПОСОБНОСТИ УЧЕНИКА

С обзиром да један део информација о условима саобраћаја возач добија преко порука са саобраћајних знакова, а други од осталих учесника у саобраћају, за потребе истараживања перцептивних способности у саобраћају ученика средње војне школе, спроведено је тестирање њихових визуелних способности опажања и сагледавања саобраћајне ситуације, као и способности примања и обраде информација примљених путем периферног видног поља.

Истраживање је спроведено мерењем тачности и брзине опажања ученика у различитим саобраћајним ситуацијама, где је као мерни инструмент употребљен адаптивни тахитоскопски тест перцепције саобраћаја и мерењем тачности и брзине опажања периферних визуелних информација, где је као мерни инструмент употребљен тест периферне перцепције. Оба теста су спроведена помоћу Vienna Test System-а, произвођача Schuhfried GmbH.

Адаптивни тахитоскопски тест перцепције саобраћаја састоји се од кратког приказа (на 1-2 секунде), на екрану, саобраћајних ситуација испитанику, слика 1. Испитаник има задатак да, након тога, одговори на питање шта је све запазио на слици (саобраћајне знакове, светлосну сигнализацију, пешаке, мотоциклисте, аутомобиле, теретна возила и аутобусе). У тесту се мери време и тачност одговора испитаника. Тест временски траје приближно 8 минута и на крају, резултати овог теста се исказују бројчано на скали од 0 до 100, где вредност 100 подразумева потпуну тачност одговора.



**Слика 1:** Пример саобраћајне ситуације на тесту перцепције саобраћаја

Брзо и тачно схватање визуелно сложених саобраћајних ситуација од великог је значаја за безбедно управљање возилом. Овај тест перцепције саобраћаја је погодан јер је адаптиван. Испитаницима задатак није ни прелак, ни претежак, па га раде на свом најбољем нивоу. Тест се користи у саобраћајној психологији и процени безбедности како код кандидата на обуци, код возача почетника, тако и код професионалних возача (за потребе психологије рада).

Други тест, тест периферне перцепције, подразумева два задатка: централни задатак праћења и задатака периферне перцепције. Светлосне диоде на панелима генеришу визуелне стимулусе, који се померају одређеном брзином у перферном видном пољу испитаника. Критични стимулуси се појављују у одређеним интервалима и испитаник реагује на њих притискањем ножних педала, док истовремено извршава централни задатак праћења кретања куглице на екрану, слика 2.

**Слика 2:** Пример рада на тесту периферне перцепције

Тест временски траје приближно 15 минута и на крају, резултати овог теста се исказују бројчано на скали од 0 до 100, на којој се очитава способност испитаника да реагује на стимулусе у периферном видном пољу.

Током фебруара и марта месеца 2023. годиине, тестирано је 59 испитаника (47 ученика и 12 ученица), сви старосне доби од 19 година. Ради репрезетативности узорка, сви испитаници су изабрани по принципу случајног избора. Треба напоменути и да су сви испитаници били невозачи, односно, до момента тестирања нису полагали возачки испит и нису имали возачку дозволу.

Резултати спроведеног тестирања добијени су након обраде података у статистичком програму SPSS, помоћу Пирсоновог коефицијента корелације (r). По питању повезаности пола са перцепцијом (тачношћу и брзином сагледавања) саобраћајне ситуације, интересантно је уочити да је просечан резултат по питању брзине сагледавања саобраћајне ситуације који су постигли ученици (мушког пола), на скали од 0 до 100, био 57, док је просечан резултат који су постигле ученице био 32.

Резултати, такође, указују да постоји значајна статистичка повезаност између претходног возачког искуства и способности сагледавања саобраћајне ситуације ($r = 0{,}413$, $p‹0{,}044$). Према [2], за детаљније разумевање оваквих резултата пожељно је сагледати и пређашња возачка искуства испитаника, па чак и окружење у коме су испитаници одрасли и начин на који су васпитавани. Наиме, иако су сви испитаници невозачи, на питање да ли су некада возили, одговор групе испитаника мушког пола је великој већини случајева био позитиван, односно сви су пробали да управљају моторним возилом изван јавног саобраћаја, док је одговор групе испитаника женског пола био негативан – претходно никада нису управљале моторним возилом.

Овакви одговори потврђују претходно добијене резултате о статистичкој повезаности између претходног возачког искуства и способности сагледавања саобраћајне ситуације, а што је и у складу са анализама представљеним у [4]. Према тим анализама, поседовање одређеног искуства у вожњи обезбеђује фокусирање видног поља на друге учеснике у саобраћају, док се периферним видом опажају светлосна сигнализација и вертикална сигнализација. Истовремено, одсуство возачког искуства узрокује несистематизовано запажање детаља (неповезано опажање саобраћајних знакова, светлосне сигнализације и других учесника у саобраћају), што изискује временски период дужи од 1-2 секунде (колико је време задржавања слике саобраћајне ситуације на екрану, током тестирања).

Детаљнијим увидом у задатке и одговоре испитаника може се закључити да се резултати тестирања показали и повезаност боје знака са брзином запажања. Тако су знакови опасности, који имају оквир црвене боје, управо из разлога лакшег и бржег уочавања од стране возача, брже и више и уочавани од стране испитаника. Са друге стране, саобраћајни знакови неутралнијих боја, постављени у урбаном окружењу, били су теже уочљиви за испитанике. Слични резултати су добијени и код ситуација у којима је саобраћајна сигнализација била густо распоређена.

Са циљем позиционирања перцептивних способности ученика средње војне школе, као микропопулације, у односу на исте способности у општој популацији возача анализирана су просечна постигнућа ученика на поменутим тестовима, али и њихова укупна перцептивна способност - добијена сублимацијом резултата постигнутих по три посматрана параметра (способност опажања, сособност сагледавања ситуације и периферно видно поље), помоћу методе једноставних адитивних тежина (SAW - Simple Additive Weighting).

SAW метода омогућава једноставан и практичан поступак оцене и поређења перцептивних способности ученика, а начелно се спроводи у три корака: 1) Формирање матрице одлучивања и њена нормализација; 2) Множење нормализоване матрице пондерисаним коефицијентима (релативним тежинама); и 3) Сабирање „отежаних“ — параметара за сваку алтернативу. Метода је нарочито погодна за примену када су критеријуми исте или сличне природе.

С обзиром да је потребно да се сваком параметру додели одговарајућа релативна тежина или пондерисани коефицијент ($\omega_j$), најпре је анкетирано седам експерата из домена саобраћаја и саобраћајне психологије и на основу просечних вредности њихових одговора установљене се вредности релативних тежина параметара: $\omega_1$ за способности опажања (тзв. Obtaining an overview – traffic тест), $\omega_2$ за способност сагледавања саобраћајне ситуације (тзв. Peripheral perception - tracking deviation тест) и $\omega_3$ за способност праћења саобраћаја периферним видом (тзв. Peripheral perception - visual field тест). Утврђене средње вредности тежина параметара су: $\omega_1 = 0{,}43$; $\omega_2 = 0{,}33$ и $\omega_3 = 0{,}24$.

Нормализација вредности, односно постигнућа ученика по основу три изабрана параметра перцепције није вршена, јер су резултати приказани на истој скали (од 0 до 100).

Применом аналитичког поступка SAW методе, према [8], добијен је ниво перцепције за сваког испитаника, према изразу 1:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} w_j \cdot x_{i,j} \quad , \ i=1,\dots,n \tag{1}$$

Где су: $S_i$ – ниво перцептивних способности $i$-тог иситаника,
$w_j$ – релативна тежина $j$-тог параметра перцептивних способности,
$x_{i,j}$ – резултат који је $i$-ти иситаник постигао по $j$-том параметру

У Табели 1. приказане су вредности перцептивних способности ученика.

**Табела 1**. Нивои перцептивних способности ученика

| ученик | $S_i$ | ученик | $S_i$ | ученик | $S_i$ | ученик | $S_i$ | ученик | $S_i$ | ученик | $S_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 75,19 | 11 | 69,19 | 21 | 77,63 | 31 | 47,07 | 41 | 61,85 | 51 | 56,9 |
| 2 | 81,08 | 12 | 61,81 | 22 | 68,49 | 32 | 75,87 | 42 | 61,37 | 52 | 54,63 |
| 3 | 64,50 | 13 | 44,21 | 23 | 39,28 | 33 | 39,01 | 43 | 39,27 | 53 | 62,97 |
| 4 | 80,21 | 14 | 48,50 | 24 | 45,75 | 34 | 74,32 | 44 | 57,93 | 54 | 73,21 |
| 5 | 66,99 | 15 | 53,14 | 25 | 68,33 | 35 | 80,21 | 45 | 51,48 | 55 | 39,00 |
| 6 | 57,60 | 16 | 63,14 | 26 | 66,68 | 36 | 69,98 | 46 | 54,48 | 56 | 64,51 |
| 7 | 81,59 | 17 | 68,19 | 27 | 76,07 | 37 | 62,80 | 47 | 49,38 | 57 | 75,37 |
| 8 | 46,09 | 18 | 61,02 | 28 | 58,87 | 38 | 78,60 | 48 | 33,42 | 58 | 76,00 |
| 9 | 58,69 | 19 | 58,54 | 29 | 57,93 | 39 | 50,24 | 49 | 51,24 | 59 | 49,44 |
| 10 | 60,59 | 20 | 81,26 | 30 | 46,24 | 40 | 53,01 | 50 | 66,28 | | |
| **Средња вредност способности перцепције за испитивану групу ученика: $S_{sr}$ = 60,96** | | | | | | | | | | | |

Добијени резултати показују да су перцептивне способности ученика средње војне школе у рангу просечних вредности перцептивних способности младих исте узрасне доби, а графички приказ вредности нивоа перцептивних способности у односу на средњу вредност у испитиваном узорку ($S_{sr}$ = 60,96), слика 3, указује на ученике који су изнад/испод просечних способности у својој групи.

**Слика 3.** Перцептивне способности ученика

Оне ученике, чија је вредност нивоа перцепције испод средње вредности нивоа перцепције групе вршњака, потребно је селектовати и груписати у посебну групу приликом обуке. Та група би у току обуке у управљању моторним возилом имала прилагођен један део обуке, са циљем кориговања недостатака у погледу перцептивних способности, али уз индивидуализован приступ током обуке.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Са циљем достизања и одржавања високог нивоа безбедности саобраћаја неопходно је остварити и висок степен синергије елемената у систему човек – возило – пут – околина. Прилагођавање возила, пута и околине возачу је периодичан процес који се стално унапређује. А прилагођавање возача возилу, путу и околини је непрекидан процес који обезбеђује доношење одлуке и извршавање активности које онемогућавају настанак саобраћајне незгоде. Исправна и брза перцепција саобраћајне ситуације од стране возача је један од најбитнијих фактора у спречавању саобраћајне незгоде.

Уважавајући разлике и специфичности у способностима, карактеристикама понашања и склоностима када се говори о улози пола у безбедности саобраћаја, или према истраживању описаном у овом раду, у перцепцији саобраћајне ситуације, величина, боја, осветљеност, положај и густина распореда саобраћајних знакова и светлосне сигнализације пресудно утичу на брзину и коректност сагледавања ситуације, а тиме и разумевања потенцијалних опасности. Брже и тачније запажање од стране возача скраћује и време рекације возача. У свему томе, возачко искуство има такође велики допринос. Познавање перцепривних способности ученика средње војне школе омогућиће циљано и ефикасније усмеравање напора у процесу њихове обуке у управљању моторним возилима.

## ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је проистекао из научноистраживачког пројекта ВА-ТТ/2/20-25 који финансира Министарство одбране Републике Србије.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Чубранић-Добродолац, М., Чичевић, С., Добродолац, М. (2013). The risks associated with using mobile phone by young drivers, *Transport*, 28 (4), 381-388.

[2] Huang, K., Chen, X., Tang, J. (2010). Research on utmost information in guide signs based on 3D virtual simulation and evaluation system. *2. International conference about multimedia and computing intelligence*, Proceedings, Wuhan, China.

[3] Li, W., Jiang, M., Tang, Z. (2007). Study on the improvement of highway guide sign system, *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 24 (12), 117–143.

[4] Liu, A., Liao, K., Xia, Y. (2016). The influence factors of the traffic signs visibility, *Road Traffic and Safety*, 16, 33–37.

[5] Rogé, J,. Pébayle, T., Lambilliotte, E., Spitzenstetter, F. , Giselbrecht, D., Muzet, A. (2004). Influence of age, speed and duration of monotonous driving task in traffic on the driver's useful visual field, *Vision Research*, 23, 2737–2744.

[6] Schnell, T., Yekhshatyan, L., Daiker, R. (2009). Effect of luminance and text size on information acquisition time from traffic signs, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2122 (1), 52–62.

[7] Статистички извештај о стању безбедности саобраћаја у Републици Србији у 2021. години, Агенција за безбедност саобраћаја, Београд, 2022.

[8] Tzeng, G-H., Huang, J-J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making – Methods and Applications*, Chapman and Hall/CRC, New York, USA.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ОДРЕЂИВАЊЕ РЕЛАТИВНЕ ТЕЖИНЕ КЛАСА И ВРСТА ВОЗИЛА ЗА ИЗБОР НАЈБЕЗБЕДНИЈЕГ ВОЗАЧА У МИНИСТАРСТВУ ОДБРАНЕ И ВОЈСЦИ СРБИЈЕ

# DETERMINING THE RELATIVE WEIGHT OF THE CLASSES AND TYPES OF VEHICLES FOR CHOOSING THE SAFEST DRIVER IN THE MINISTRY OF DEFENSE AND THE SERBIAN ARMED FORCES

ЈЕЛЕНА РАЈЧИЋ[1] ИВАНА НИКОЛИЋ[2]

[1] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, jelenarajcic1112@gmail.com
[2] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, ivananikolici62016@gmail.com

***Резиме:*** *Одређивање релативне тежине критеријума један је од кључних проблема који се јавља у моделима вишекритеријумске оптимизације, јер релативна тежина критеријума у значајној мери може утицати на резултат процеса одлучивања. Министарство одбране и Војска Србије, у циљу промовисања безбедности саобраћаја, сваке године врше избор најбезбеднијег возача у Министарству одбране и Војсци Србије. Јединице и установе Министарства одбране и Војске Србије врше избор и проглашење најбезбеднијег возача из свог састава и предлажу кандидате за најбезбеднијег возача у Министарству одбране и Војсци Србије. Рангирање кандидата врши се према опадајућем низу вредности „коригованог пређеног пут“. У раду је приказана могућност примене софтвера Expert choice за одређивање релативне тежине класа и врста возила који се користе приликом избора најбезбеднијег возача у Министарству одбране и Војсци Србије.*

***Кључне речи:*** *Релативна тежина, критеријум, најбезбеднији возач.*

***Abstract:*** *Determining the relative weight of the criteria is one of the key problems that occurs in multi-criteria optimization models, because the relative weight of the criteria can significantly affect the result of the decision-making process. The Ministry of Defense and the Serbian Armed Forces, in order to promote traffic safety, annually select the safest driver in the Ministry of Defense and the Serbian Armed Forces. Units and institutions of the Ministry of Defense and the Serbian Armed Forces select and declare the safest driver from their ranks and propose candidates for the safest driver in the Ministry of Defense and the Serbian Armed Forces. Candidates are ranked according to the descending order of "corrected distance traveled". The paper shows the possibility of applying the Expert choice software for determining the relative weight of classes and types of vehicles that are used when choosing the safest driver in the Ministry of Defense and the Serbian Armed Forces.*

***Keywords:*** *Relative weight, criteria, safest driver.*

## 1. УВОД

У теорији одлучивања присутан је велики број метода и техника које налазе широку примену у процесу доношења одлука. Најчешће се за ту сврху користе методе вишекритеријумског одлучивања које доносиоцима одлуке омогућавају избор између више могућих решења. При том треба имати на уму да критеријуми немају исти утицај, па је потребно да доносилац одлуке дефинише релативне тежине критеријума који се користе у процесу одлучивања.

Избор одговарајућих критеријума на основу којих се врши вредновање опција и додељивање тежинских коефицијената критеријумима представља веома важан корак у процесу вишекритеријумског одлучивања од којег у великој мери зависи и коначан резултат вредновања.

Саобраћајне незгоде су најистакнутији негативни ефекат саобраћаја и перманентан друштвени, здравствени и економски проблем човечанства. Човек, односно возач, је најзначајнији фактор који утиче на безбедност саобраћаја. Тежина задатка вожње произилази из интеракције захтева саобраћаја, с једне стране, и способности возача да задатак успешно реши, с друге стране. Уопштено посматрано, тамо где је контролисана способност коју возач испољава једнака или на вишем нивоу од захтева коју саобраћајна ситуација изискује – исход је безбедан саобраћај. [3]

У раду је приказана могућност примене софтвера Expert choice за одређивање релативне тежине класа и врста возила који се користе приликом избора најбезбеднијег возача у Министарству одбране и Војсци Србије.

## 2. НАЧЕЛА БЕЗБЕДНОГ ПОНАШАЊА ВОЗАЧА У САОБРАЋАЈУ

Како би се схватила суштина безбедног понашања возача у саобраћају или како се у стручној литератури дефинише - дефанзивног начина понашања, неопходна је компарација са небезбедним понашањем. Понашање у саобраћају, као интегрални елемент општег понашања, може се анализирати кроз три нивоа [2]:

- *Афективни ниво* се односи на емоције, ставове, вредности и мотиве који се јављају у процесу управљања моторним возилом. Наиме, у саобраћају је од круцијалног значаја рационално размишљати, не доводити себе у опасност због свог тренутног психичког стања, било да је оно позитивно или негативно, поштовати друге учеснике у саобраћају и не реаговати импулсивно. Из овог се може закључити да су особине безбедног понашања на овом нивоу правичност, самоконтрола, култура, емпатија, несебичност, смерност, стрпљивост, човечност, а небезбедног понашања би биле: неморал, себичност, опортунизам, агресивност, безобзирност, несавесност.
- *Когнитивни ниво* се генерално односи на знање, пажњу, одлуке и реакције у саобраћају. Ове компоненте зависе од искуства, посвећености, обзирности, предиспозиција, интелигенције и наравно саобраћајног васпитања и образовања. Тако да, на овом нивоу, „безбедан возач“ би био онај возач који је стекао неопходна знања, вештине и навике у вези са управљањем моторним возилом, као и ментално здравље које утиче на когнитивне способности људи уопште. Такође, може се јавити безвољност код возача тј. немогућност доношења и спровођења одлука, што је карактеристика „небезбедног возача“, а поред тога јавља се прецењивање сопствених способности, преране или прекасне реакције, егоизам и слично.
- *Сензомоторни ниво* је везан за општу слику возача као човека, каква му је координација, реакција, поштовање, толеранција, склоност ка ризицима и друго. Када се прави компарација између безбедног и небезбедног понашања возача на овом нивоу, безбедно би се односило на разборитост, суздржаност, толерантност, а небезбедне особине су некоректност, депресивност, насилност, дрскост.

Дедукцијом се могу издвојити шест компоненти којима би се разграничило безбедно и небезбедно понашање возача у саобраћају:

- Разумевање ризика;
- Препознавање опасности;
- Навике у понашању;
- Перцепција;
- Понашање на нивоу пажње;
- Вештине правилних реакција у саобраћају.

Основна начела безбедног понашања у саобраћају, утврђена на основу особина на афективном, когнитивном и сензомоторном нивоу, јесу [2]:

- Изграђивање навика сигурног понашања;
- Коректан однос према другим учесницима у саобраћају;
- Наглашена мотивација за правилно поступање према саобраћајним прописима и поштовање саобраћајних знакова;
- Смањење броја грешака приликом управљања возилом;
- Правилно реаговање у избегавању опасних ситуација;
- Задовољство изазвано вожњом и друго.

На основу начела безбедног понашања у саобраћају могу се утврдити и критеријуми за селекцију најбезбеднијег возача.

## 3. ИЗБОР НАЈБЕЗБЕДНИЈЕГ ВОЗАЧА У МИНИСТАРСТВУ ОДБРАНЕ И ВОЈСЦИ СРБИЈЕ

Министарство одбране и Војска Србије, у циљу промовисања безбедности саобраћаја, сваке године врше избор најбезбеднијег возача у Министарству одбране и Војсци Србије.

Поступак избора најбезбеднијег возача започиње на нивоу јединица и установа Министарства одбране и Војске Србије које врше избор и проглашавају најбезбеднијег возача из свог састава. Најбезбеднији возачи, на нивоу јединица и установа Министарства одбране и Војске Србије, се затим предлажу за избор на оперативном нивоу. Организациона јединица Генералштаба Војске Србије надлежна за послове из функције саобраћај и транспорт обједињава предлоге оперативних састава и јединица, односно установа непосредно потчињених Генералштабу Војске Србије за избор најбезбеднијег возача Министарства одбране и Војске Србије и организује избор и проглашава најбезбеднијег возача Министарства одбране и Војске Србије.

Критеријуме за избор најбезбеднијег возача, у складу са Правилником о безбедности војних учесника у саобраћају на путевима, утврдила је организациона јединица Министарства одбране надлежна за функцију саобраћај и транспорт. При томе, утврђен је сет искључујућих критеријума за предложене кандидате, који подразумевају [1]:

- да је возач у протеклој години учествовао у више од једне саобраћајне незгоде за коју није утврђена одговорност војног возача за настанак саобраћајне незгоде,
- да је возач у протеклој години учествовао у више од једне саобраћајне незгоде без обзира на процењену одговорност војног возача за настанак саобраћајне незгоде,
- да возач у протеклој години има евидентираних саобраћајних прекршаја,
- да је возач проглашен за најбезбеднијег возача у Министарству одбране и Војсци Србије у претходној години,
- да је возачу последња службена оцена нижа од „врло добар“.

Рангирање кандидата врши се према опадајућем низу вредности „коригованог пређеног пут“ који се утврђује на начин да се пређени пут у току године одређеном врстом возила (по класификацији возила, средстава интегралног транспорта и других средстава с погоном на течна горива) множи се коефицијентом одређеним за врсту возила, према табели 1.

**Табела 1.** Коефицијенти по класификацији возила

| | **Група возила** | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Класа и врста возила** | **01** | **02** | **03** | **04** | **05** | **06** | **07** | **08** | **09** | **10** | **11** |
| 1.01. | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | | |
| 1.02. | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | |
| 1.03. | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | | | | | | | |
| 1.04. | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | | | | | | | |
| 1.05. | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | | | | | |

|  | **Група возила** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Класа и врста возила** | **01** | **02** | **03** | **04** | **05** | **06** | **07** | **08** | **09** | **10** | **11** |
| 1.06. | 1,25 | 1,25 | 1,25 | 1,50 | 1,75 |  |  |  |  |  |  |
| 1.07. | 1,25 | 1,25 | 1,50 | 1,50 |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.08. | 1,25 | 1,25 | 1,25 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.09. | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 1.10. | 1,75 | 2,00 | 2,50 | 3,00 | 2,50 | 2,00 |  |  |  |  |  |
| 1.11. | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |  |  |  |  |  |  |
| 2.14. |  | 1.50 |  | 1.50 |  |  |  |  |  |  |  |
| 4.02. | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |  |  |  |  |  |
| 4.03. | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 |  |  |
| 4.04. | 2,00 | 2,00 | 2,00 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4.05. | 2,00 | 2,00 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

За сваког возача врши се сумирање добијених вредности по врстама возила и укупан збир представља „кориговани пређени пут“, који се узима у разматрање за избор најбезбеднијег возача. При томе, пређени пут остварен при транспорту опасне робе и при вучи оруђа додатно се множити са коефицијентом 2,00.

Такође, у случају да је предложени кандидат учествовао у саобраћајној незгоди која није у одговорности војног возача, укупан кориговани пут које је лице остварило према критеријуму за избор најбезбеднијег возача, умањује се за 2.000 km.

Комисију за избор најбезбеднијег возача сачињавају представници:

- Управе за логистику (Ј-4) ГШ ВС – председник комисије,
- Управе Војне полиције ГШ ВС,
- Команде РВиПВО,
- Команде КзО.

Свечано проглашавање најбезбеднијег возача у Министарству одбране и Војсци Србије реализује се на седници Савета за безбедност војних учесника у саобраћају доделом одговарајућих признања.

## 4. ОДРЕЂИВАЊЕ РЕЛАТИВНЕ ТЕЖИНЕ КЛАСА И ВРСТЕ ВОЗИЛА

Анализирајући расположиву литературу која третира сличне проблеме, утврђено је да одређивање релативне тежине критеријума представља један је од кључних проблема који се јавља у моделима вишекритеријумске оптимизације, јер резултат вредновања у великој мери зависи од њих.

Како би се повећала објективност избора најбезбеднијег возача у Министарству одбране и Војсци Србије, уместо субјективно одређених вредности коефицијената приказаних у табели 1, релативне тежине сваке класе и врсте возила добијене су експертском проценом коришћењем софтвера Expert Choice.

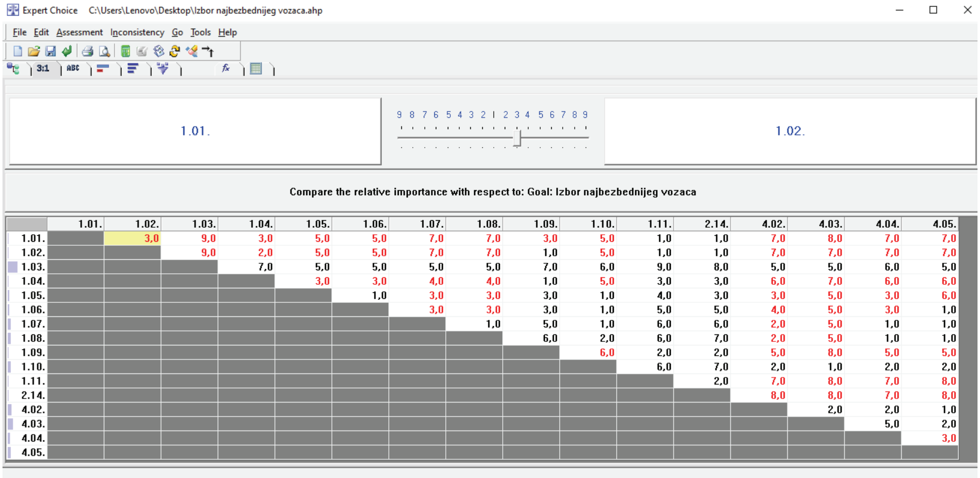
Битна компонента у примени наведене методе је мерна скала којом се исказују приоритети између елемената. Thomas Saaty је дефинисао скалу која се сматра стандардном (табела 2).

**Табела 2:** Сатијева скала

| **Дефиниција** | **Нумерички еквивалент** |
|---|---|
| Исти значај | 1 |
| Слаба доминантност | 3 |

| Дефиниција | Нумерички еквивалент |
|---|---|
| Јака доминантност | 5 |
| Врло јака доминантност | 7 |
| Апсолутна доминантност | 9 |
| Међувредности | 2, 4, 6, 8 |

Међусобним поређењем класа и врста возила према Сатијевој скали, одређују се њихове релативне тежине. На слици 1. приказано је поређење класа и врста возила, применом софтверског пакета Expert Choice [4].

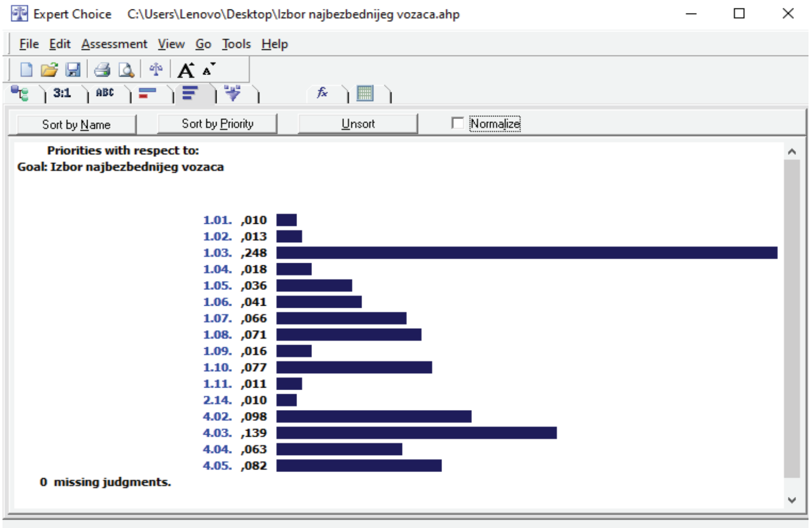


Compare the relative importance with respect to: Goal: Izbor najbezbednijeg vozaca

| | 1.01. | 1.02. | 1.03. | 1.04. | 1.05. | 1.06. | 1.07. | 1.08. | 1.09. | 1.10. | 1.11. | 2.14. | 4.02. | 4.03. | 4.04. | 4.05. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.01. | | 3,0 | 9,0 | 3,0 | 5,0 | 5,0 | 7,0 | 7,0 | 3,0 | 5,0 | 1,0 | 1,0 | 7,0 | 8,0 | 7,0 | 7,0 |
| 1.02. | | | 9,0 | 2,0 | 5,0 | 5,0 | 7,0 | 7,0 | 1,0 | 5,0 | 1,0 | 1,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 | 7,0 |
| 1.03. | | | | 7,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 7,0 | 6,0 | 9,0 | 8,0 | 5,0 | 5,0 | 6,0 | 5,0 |
| 1.04. | | | | | 3,0 | 3,0 | 4,0 | 4,0 | 1,0 | 5,0 | 3,0 | 3,0 | 6,0 | 7,0 | 6,0 | 6,0 |
| 1.05. | | | | | | 1,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1,0 | 4,0 | 3,0 | 3,0 | 5,0 | 3,0 | 6,0 |
| 1.06. | | | | | | | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1,0 | 5,0 | 5,0 | 4,0 | 5,0 | 3,0 | 1,0 |
| 1.07. | | | | | | | | 1,0 | 5,0 | 1,0 | 6,0 | 6,0 | 2,0 | 5,0 | 1,0 | 1,0 |
| 1.08. | | | | | | | | | 6,0 | 2,0 | 6,0 | 7,0 | 2,0 | 5,0 | 1,0 | 1,0 |
| 1.09. | | | | | | | | | | 6,0 | 2,0 | 2,0 | 5,0 | 8,0 | 5,0 | 5,0 |
| 1.10. | | | | | | | | | | | 6,0 | 7,0 | 2,0 | 1,0 | 2,0 | 2,0 |
| 1.11. | | | | | | | | | | | | 2,0 | 7,0 | 8,0 | 7,0 | 8,0 |
| 2.14. | | | | | | | | | | | | | 8,0 | 8,0 | 7,0 | 8,0 |
| 4.02. | | | | | | | | | | | | | | 2,0 | 2,0 | 1,0 |
| 4.03. | | | | | | | | | | | | | | | 5,0 | 2,0 |
| 4.04. | | | | | | | | | | | | | | | | 3,0 |
| 4.05. | | | | | | | | | | | | | | | | |

**Слика 1:** Поређење класа и врста возила применом софтвера Expert choice

Релативне тежине класа и врста возила добијене применом софтвера Expert choice, приказане су на слици 2.



Priorities with respect to:
Goal: Izbor najbezbednijeg vozaca

| | |
|---|---|
| 1.01. | ,010 |
| 1.02. | ,013 |
| 1.03. | ,248 |
| 1.04. | ,018 |
| 1.05. | ,036 |
| 1.06. | ,041 |
| 1.07. | ,066 |
| 1.08. | ,071 |
| 1.09. | ,016 |
| 1.10. | ,077 |
| 1.11. | ,011 |
| 2.14. | ,010 |
| 4.02. | ,098 |
| 4.03. | ,139 |
| 4.04. | ,063 |
| 4.05. | ,082 |

0 missing judgments.

**Слика 2:** Релативне тежине класа и врста возила

Релативне тежине добијене на овај начин се затим множе са пређеном километражом возила из сваке класе и врсте возила. Сумирањем тако добијених вредности добија се вредност укупно пређеног пута возача.

$$\sum_{i=1}^{n} L_i = w_k \cdot L_k \qquad (1)$$

где је: $L_i$ – укупно пређени пут $i$-тог возача ($n$ – број возача),
$w_k$ – релативна тежина класе и врсте возила,
$L_k$ – пређена километража возила по свакој класи и врсти возила.

Рангирањем укупно пређеног пута возача добија се најбезбеднији возач у Министарству одбране и Војсци Србије.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Одређивање релативне тежина критеријума један је од кључних проблема који се јавља у моделима вишекритеријумске оптимизације. Додељивање тежинских коефицијената критеријумима користи се у свим моделима вишекритеријумског одлучивања, а резултат вредновања у великој мери зависи од њих. Узимајући у обзир чињеницу да тежине критеријума могу значајно утицати на резултат процеса одлучивања, јасно је да се посебна пажња мора посветити објективности тежина критеријума, што није увек присутно код решавања практичних проблема.

Постојећи начин избора најбезбеднијег возача у Министарству одбране и Војсци Србије има одређене нелогичности које се пре свега огледају у искључујућим критеријумима који се примењују. Посебно је спорно то што возач који је у претходној години изабран за најбезбеднијег возача у Министарству одбране и Војсци Србије не може бити разматран за избор у текућој години, као и то да уколико је возач имао више од једне саобраћајне незгоде за коју није одговоран такође не може да буде разматран за најбезбеднијег возача.

Предложени модел представља покушај да се у одређеној мери повећа објективност доношења одлуке о избору најбезбеднијег возача у Министарству одбране и Војсци Србије, пре свега уважавањем специфичности сваке класе и врсте возила. Такође, модел оставља могућност да се у разматрање узму и остале класе и врсте возила, како би возачи свих возила били подједнако разматрани.

## ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је проистекао из научноистраживачког пројекта ВА-ТТ/2/20-25 који финансира Министарство одбране Републике Србије.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Правилник о безбедности војних учесника у саобраћају на путевима, Службени војни лист, број 10/14 и 38/20, Београд

[2] Димитријевић, Н., Вујанић, М., Костић, Б., (2019). Чиниоци безбедног понашања возача у саобраћају, Војна академија, Београд, 291-292.

[3] Пешић, Д., Антић, Б., Липовац, К., Безбедност саобраћаја – методе и анализе, Саобраћајни факултет, Београд, 2019.

[4] www.expertchoice.com

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРОГНОЗИРАЊЕ УВОЂЕЊА ВОЗИЛА НА ХИБРИДНИ И ЕЛЕКТРИЧНИ ПОГОН У ВОЈСКУ СРБИЈЕ

# FORECASTING THE INTRODUCTION OF HYBRID AND ELECTRIC VEHICLES IN THE ARMY OF SERBIA

ЈОВАНА МИЈАТОВИЋ,[1] НЕМАЊА МАТЕЈИЋ[2]

[1] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, jovanamijatovic42@gmail.com
[2] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, nemanjamatejic4@gmail.com

---

***Резиме:*** *У овом раду су приказане процјене експерата по питању увођења возила на хибридни и електрични погон у возни парк Војске Србије. У поступку примјене Делфи методе, прикупљене су процјене експерата по наведеним питањима, које су затим обрађене и на основу којих су изведени коначни закључци. Резултати истраживања указују на очекивања да ће хибридна и електрична возила бити у Војску Србије уведена у наредних 20 година, постепено и не истим интензитетом у свим класама возила.*

***Кључне ријечи:*** *Прогнозирање, истраживање, хибридна возила, електрични погон, "Делфи" метода*

***Abstract:*** *This paper presents expert assessments regarding the introduction of hybrid and electric vehicles into the vehicle fleet of the Serbian Armed Forces. Using the Delphi method, expert opinions on the mentioned topics were collected, processed, and based on them, final conclusions were drawn. The research results indicate that the introduction of hybrid and electric vehicles into the Serbian Armed Forces is expected to occur gradually over the next 20 years, with varying intensity across different vehicle classes.*

***Keywords:*** *Forecasting, research, hybrid vehicles, electric propulsion, "Delphi" method.*

---

## 1. УВОД

У последњим деценијама, све већа глобална свијест о заштити животне средине и потреби за смањењем емисија штетних гасова довела је до рапидног развоја електричних и хибридних возила као алтернативних рјешења за конвенционалне аутомобиле са унутрашњим сагорјевањем. Ова технолошка револуција у транспортном сектору има широк спектар потенцијалних користи, укључујући смањење зависности од фосилних горива, побољшање квалитета ваздуха и смањење емисија гасова са ефектом стаклене баште.

Иако су се многе земље широм свијета усредсредиле на имплементацију електричних возила у цивилном сектору, мање пажње је посвећено њиховој примјени у војном сектору. У контексту Војске Србије (ВС), предвиђање и процјена могућности увођења електричних и хибридних возила постају од суштинске важности како би се разумјели потенцијални бенефити ове технологије за војну организацију, као и за заштиту животне средине.

Проучавање овог питања захтјева анализу техничких, оперативних, економских и логистичких аспеката како би се процијенила изводљивост ове транзиције. Такође, важно је сагледати специфичне захтјеве и потребе ВС у смислу мобилности снага, логистике и оперативних перформанси.

Рад пружа увид у ставове групе експерата по питањима опремања ВС возилима на хибридни и електрични погон. У том смислу он представља и потенцијалну основу за даља истраживања и дискусију о примјени ових возила и нове технологије у војне сврхе.

# 2. УПОТРЕБА ХИБРИДНИХ И ЕЛЕКТРИЧНИХ ВОЗИЛА У СТРАНИМ ОРУЖАНИМ СНАГАМА

Употреба хибридних и електричних возила у војскама широм свијета представља значајан тренд. Многе војске су препознале потенцијалне предности ових возила и активно раде на њиховој интеграцији у своје флоте возила. Ова нова технологија пружа бројне могућности за унапређење мобилности јединица, оперативне ефикасности, али и заштите животне средине.

Тешко је прецизно одредити која је прва војска усвојила хибридна и електрична возила у својим саставима, јер различите земље су постепено уводиле ове технологије у своје флоте током протеклих година. Међутим, неколико земаља је било међу пионирима у овом подручју.

Један од примјера је војска Сједињених Америчких Држава (САД), која је покренула програм за замјену конвенционалних возила електричним и хибридним возилима још 2009. године. САД су активно радиле на интеграцији ових возила у војне операције како би смањиле потрошњу горива и емисије гасова. У последње три године, америчка војска је смањила своју неборбену флоту за 18.000 возила и додала 3.000 хибридних возила. Овај напредак резултирао је смањењем потрошње горива за 13 милиона галона горива годишње и смањењем емисија гасова са ефектом стаклене баште по миљи за 12% [3].

У последњим годинама, Канадске оружане снаге (CAF) су такође посвјетиле пажњу возилима са алтернативним погоном. Цивилна, невојна флота службених возила и пикапова већ неколико година користи хибридну технологију. Као резултат тога, особље за одржавање је морало проћи додатну обуку како би подржало екплоатацију такве флоте. Ова обука је интегрисана у редовни распоред обуке за техничаре возила [4].

У америчкој војсци постоји значајна истраживачка активност у вези са хибридним војним возилима, при чему се коришћење електричног погона разматра већ 50 година. Међутим, интензивна пажња усмјерена је на ово поље почевши од 2005. године кроз програм експериментисања и процјене хибридно-електричних возила. Током 2000-их година постојало је и неколико других програма у САД који су развијали хибридна возила кроз заједничке пројекте војске и комерцијалног сектора или кроз искључиво комерцијалне пројекте. Ови програми су у протеклих неколико година развили неколико хибридних возила у сврху тестирања. Развијени су бројни високомобилни возови са вишеструком намјеном, који користе различите хибридне технологије. Студије су утврдиле да постоје многе предности војних хибридних и електричних возила и да је технологија изводљива. На примјер, високомобилни возови могу остварити мању потрошњу горива и до 68%, иако то зависи од врсте технологије која се користи и од окружења [2].

Ови примјери илуструју рано усвајање хибридних и електричних возила у војним снагама. Међутим, треба напоменути да су многе земље широм свијета сада активно у процесу увођења ових возила у своје војне флоте, укључујући Велику Британију, Њемачку, Кину и друге.

Када се ради о увођењу возила са хибридним и електричним погоном у Војску Србије, присутне су велике непознанице. Присутне су информације да је било неколико случајева набавке возила са хибридним погоном, али систематског приступа и нарочито увођења у јединице и установе Министарства одбране и Војске Србије, у складу са важећим процедурама, није било.

У циљу процјене времена увођења ових возила у флоту возила Војске Србије, као и у циљу предвиђања њихове бројности (заступљености) и сл., спроведено је истраживање међу припадницима Министарства одбране и Војске Србије, који се могу сматрати експертима у овој области. Истраживање је спроведено међу 10 експерата саобраћајне и машинске струке, који су на свом радном месту непосредно укључени у активности и праћење трендова и по питању технологије возила и по питању опремања Војске Србије истим. У ту сврху употребљена је Делфи метода.

## 3. „ДЕЛФИ“ МЕТОДА И ЊЕНА ПРИМЈЕНА ЗА ПРОГНОЗИРАЊЕ УВОЂЕЊА ХИБРИДНИХ И ЕЛЕКТРИЧНИХ ВОЗИЛА У ВОЈСКУ СРБИЈЕ

„Делфи” метода је итеративни процес прикупљања мишљења стручњака путем анонимне дистрибуције упитника и анализе резултата како би се постигао консензус или процјенио степен сагласности међу стручњацима у одређеној области. Ова метода је посебно корисна у ситуацијама када се ради о комплексним питањима или будућим трендовима који захтјевају стручно мишљење.

Примјена "Делфи" методе у конкретном примјеру извршена је кроз сљедеће кораке:

1. *Идентификација експерата*: Идентификовани су експерти који посједују знање и искуство у области опремања војске, логистике, саобраћајне подршке и возила. Изабране су старјешине из Генералштаба ВС (3 експерта) и истраживачи и наставници из Војне академије (7 експерата), којима су придружени одређени тежински фактори (за 3 експерта из Генералштаба ВС тежински фактор је био $W_1$ = 0,15, за 4 експерта саобраћајне струке из Војне академије тежински фактор је био $W_2$ = 0,10 и за 3 експерта машинске струке из Војне академије тежински фактор је био $W_3$ = 0,05).

2. *Дефинисање упитника*: Дефинисана су питања и формиран је упитник за изабрану групу експерата.

Упитником су постављена сљедећа питања за прогнозу опремања ВС хибридним возилима:

- Када ће у Војску Србије бити уведено прво возило на хибридни погон?
- Када ће у Војску Србије бити уведен први путнички аутомобил на хибридни погон?
- Када ће у Војску Србије бити уведен први аутобус на хибридни погон?
- Када ће у Војску Србије бити уведен први теренски аутомобил на хибридни погон?
- Када ће у Војску Србије бити уведен први теретни аутомобил на хибридни погон?
- Колики је по вашем мишљењу, максималан прихватљиви удио возила на хибридни погон у одређеној класи средстава (класе 1.01 – 1.11) и до које године процјењујете да би ВС могла да достигне тај процјенат возила на хибридни погон у свом возном парку?

Упитник је садржао идентична питања и у вези са возилима на електрични погон.

3. *Итеративни процес*: Спроведен је итеративни процес дистрибуције упитника и прикупљања мишљења експерата. Упитник са питањима је најпре упућен експертима, са захтјевом да дају своју процјену и мишљење. Након прикупљања одговора, они су најпре „отежани“ специфичним тежинама експерта, а потом сумирани и утврђена је њихова просјечна вриједност одговора, која је поново достављена експертима, како би били обавјештени о мишљењима осталих експерата. Овај поступак анкетирања експерата циклично се понавља, према [1], све док средње вриједности одговора групе експерата из два узастопна циклуса не постану „разумно блиске”. У конкретном случају, као критеријум достизања „стабилности” одговора експерата постављен је услов да сума тежинских коефицијената експерата који су у последњем циклусу испитивања промјенили своју процјену, у односу на претходни циклус, буде највише 0,25 ($\Delta W \leq 0,25$). Другим ријечима, захтјевано је да укупна релативна тежина експерата који су остали досљедни свом претходном одговору, не буде мања од 0,75. Овај услов релативног консензуса је у конкретном примјеру, достигнут већ у другом кругу испитивања када се ради о возилима на хибридни погон, односно у трећем кругу када се ради о возилима на електрични погон.

Резултати који су добијени за возила на хибридни погон, након другог круга анкетирања експерата, приказан су у табели 1.

На истим питањима и на исти начин, прикупљене су и обрађене процјене експерата по питању увођења возила на електрични погон у Војску Србије. У овом случају је прихватљиви „консензус“ у мишљењима постигнут нешто касније (у трећем кругу анкетирања) и то првенствено због веће ралике у одговорима на питање под редним бројем 6.

Резултати који су добијени након трећег круга анкетирања експерата, у вези са возилима на електрични погон, приказан су у табели 2.

**Табела 1.** Усаглашена мишљења експерата по питању увођења возила на хибридни погон у Војску Србије.

| Ред. бр. | Питање | Процена експерата | | | ΔW |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Када ће у Војску Србије бити уведено прво возило на хибридни погон? | оптимистичка процена | 2031-2035. | | 0,25 |
| | | песимистика процена | 2036-2040. | | 0,15 |
| 2. | Када ће у Војску Србије бити уведен први путнички аутомобил на хибридни погон? | оптимистичка процена | 2031-2035. | | 0,20 |
| | | песимистика процена | 2036-2040. | | 0,15 |
| 3. | Када ће у Војску Србије бити уведен први аутобус на хибридни погон? | оптимистичка процена | 2031-2035. | | 0,15 |
| | | песимистика процена | 2041-2045. | | 0,25 |
| 4. | Када ће у Војску Србије бити уведен први теренски аутомобил на хибридни погон? | оптимистичка процена | 2031-2035. | | 0,10 |
| | | песимистика процјена | 2041-2045. | | 0,20 |
| 5. | Када ће у Војску Србије бити уведен први теретни аутомобил на хибридни погон? | оптимистичка процена | 2036-2040. | | 0,15 |
| | | песимистика процена | 2046-2050. | | 0,15 |
| 6. | Максималан прихватљиви удио возила на хибридни погон у одређеној класи возила и година када би ВС могла да достигне тај проценат возила у свом возном парку? | **класа возила*** | **% удела** | **година** | **ΔW** |
| | | класа 1.01 | 30 | 2045. | 0,10 |
| | | класа 1.02 | 50 | 2042. | 0,15 |
| | | класа 1.03 | 51 | 2044. | 0,15 |
| | | класа 1.04 | 37 | 2046. | 0,20 |
| | | класа 1.05 | 28 | 2046. | 0,15 |
| | | класа 1.06 | 29 | 2048. | 0,15 |
| | | класа 1.07 | 25 | 2050. | 0,15 |
| | | класа 1.08 | 29 | 2050. | 0,20 |
| | | класа 1.09 | 35 | 2044. | 0,05 |
| | | класа 1.10 | 20 | 2050. | 0,15 |
| | | класа 1.11 | 34 | 2048. | 0,25 |

* *класе возила су наведене у складу са класификацијом неборбених моторних возила опште намјене у ВС (класа 1.01* Мопеди, мотоцикли, трицикли и четвороцикли, *класа 1.02* Аутомобили путнички, *класа 1.03* Аутобуси, *класа 1.04* Аутомобили теренски за превоз лица, *класа 1.05* Аутомобили теренски за вучу и транспорт, *класа 1.06* Аутомобили теретни, *класа 1.07* Аутомобили теретни самоистоваривачи, *класа 1.08* Аутомобили теретни са лаком дизалицом, *класа 1.09* Аутомобили за превоз путника и терета и остали, *класа 1.10* Тегљачи без приколица, *класа 1.11* Трактори*)*

4. *Анализа и интерпретација резултата*: Након прикупљених одговора, они су анализирани и добијени резултати интерпретирани, односно идентификовани су трендови и мишљења стручњака по постављеним питањима.

5. *Извјештај и закључци*: Формални извјештај са резултатима истраживања није урађен, али су изведени одређени закључци у вези са опремањем ВС хибридним и електричним возилима.

Коначни резултати, када се ради о возилима на хибридни погон, у вези са процјенама експерата могу се формулисати на сљедећи начин:

- Војска Србије ће прва возила на хибридни погон увести у оперативну употребу у периоду између 2031. и 2035. године (најкасније у периоду 2036-2040. година), и то ће бити возила из класе путничких аутомобила.

- У истом периоду, 2031 - 2035. година (а најкасније 2041-2045. година), али након увођења путничких аутомобила, може се очекивати и увођење аутобуса, а потом и теренских аутомобила за превоз лица.

- У периоду који следи након овога, период 2036 – 2040. година, а најкасније 2046-2050. година, у ВС ће бити уведени и први теретни аутомобили на хибридни погон.

- По питању процентуалне заступљености, у оквиру своје категорије, најбројнији ће бити путнички аутомобили и аутобуси на хибридни погон – око 50% (што ће се достићи у периоду 2042-2044. година), а потом и теренски аутомобили за превоз лица и остали аутомобили за превоз путника и терета – од 35 до 40% (што ће се достићи у периоду 2044-2046. година).

**Табела 2.** Мишљења експерата по питању увођења возила на електрични погон у ВС.

| **Ред. бр.** | **Питање** | **Процена експерата** | | | **ΔW** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Када ће у ВС бити уведено прво возило на електрични погон? | оптимистичка процена | 2031-2035. | | 0,25 |
| | | песимистика процена | 2036-2040. | | 0,25 |
| 2. | Када ће у ВС бити уведен први путнички аутомобил на електрични погон? | оптимистичка процена | 2031-2035. | | 0,10 |
| | | песимистика процена | 2036-2040. | | 0,15 |
| 3. | Када ће у ВС бити уведен први аутобус на електрични погон? | оптимистичка процена | 2041-2045. | | 0,25 |
| | | песимистика процена | 2046-2050. | | 0,25 |
| 4. | Када ће у ВС бити уведен први теренски аутомобил на електрични погон? | оптимистичка процена | 2031-2035. | | 0,20 |
| | | песимистика процена | 2041-2045. | | 0,20 |
| 5. | Када ће у ВС бити уведен први теретни аутомобил на електрични погон? | оптимистичка процена | 2036-2040. | | 0, 10 |
| | | песимистика процена | после 2050. | | 0,20 |
| 6. | Максималан прихватљиви удио возила на електрични погон у одређеној класи возила и година када би ВС могла да достигне тај проценат возила у свом возном парку? | **класа возила*** | **% удела** | **година** | **ΔW** |
| | | класа 1.01 | 40 | 2045. | 0,20 |
| | | класа 1.02 | 40 | 2043. | 0,25 |
| | | класа 1.03 | 39 | 2044. | 0,10 |
| | | класа 1.04 | 29 | 2045. | 0,25 |
| | | класа 1.05 | 17 | 2047. | 0,15 |
| | | класа 1.06 | 19 | 2048. | 0,20 |
| | | класа 1.07 | 17 | 2049. | 0,15 |
| | | класа 1.08 | 19 | 2050. | 0,10 |
| | | класа 1.09 | 30 | 2044. | 0,10 |
| | | класа 1.10 | 15 | 2050. | 0,15 |
| | | класа 1.11 | 37 | 2047. | 0,20 |

* *класе возила су наведене у складу са класификацијом неборбених моторних возила опште намене у ВС*

Процјене експерата о опремању возилима на електрични погон, могу се сублимирати у:

- Војска Србије ће прва возила на електрични погон увести, паралелно са возилима на хибридни погон, у периоду између 2031. и 2035. године (најкасније у периоду 2036-2040. година), и то ће бити возила из класе путничких аутомобила.

- Нешто касније, у периоду, 2041 - 2045. година (а најкасније 2046-2050. година), може се очекивати и увођење аутобуса, а потом и теренских аутомобила на електрични погон.

- У периоду након овога, период 2036 – 2040. година, а најкасније после 2046. односно 2050. године, у ВС ће бити уведени и први електрични аутобуси и теретни аутомобили.

- По питању процентуалне заступљености, у оквиру своје категорије, најбројнији ће бити мотоцикли, путнички аутомобили, аутобуси и трактори на електрични погон – око 40% (што ће се достићи у периоду 2043-2047. година), а потом и теренски аутомобили за превоз лица и остали аутомобили за превоз путника и терета – око 30% (што ће се достићи око 2045. године), док ће последњи (око 2050. године) и у мањем проценту (15-20%) бити сва остала возила.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Увођење возила на хибридни и електрични погон у Војску Србије има потенцијал да донесе бројне користи. То укључује смањење потрошње горива, смањење емисије штетних гасова и буке, повећање аутономије војних возила и могућност генерисања додатне електричне енергије на терену. Усвајање ових технологија у војне сврхе није само тренд у цивилном сектору, већ и потреба за модернизацијом војних флота и прилагођавањем новим захтјевима и изазовима како у мирнодопском функционисању, тако и на бојишту.

Увођење возила на хибридни и електрични погон захтјева пажљиво планирање, тестирање и имплементацију. Неопходно је извршити процјену технолошких могућности, прилагодити возила специфичним војним потребама и обезбједити адекватну инфраструктуру за пуњење и одржавање. Сарадња са стручњацима, индустријским партнерима и релевантним организацијама може бити од кључног значаја за успјешно увођење возила на хибридни и електрични погон у Војску Србије. Размјена знања, искустава и ресурса може убрзати процес и осигурати оптимално коришћење ових технологија.

Као дио шире стратегије модернизације Војске Србије, увођење возила на хибридни и електрични погон треба пажљиво размотрити у контексту дугорочних циљева војске, оперативних захтјева и финансијских могућности. Користећи Делфи методу, могу се добити драгоцјени увиди о очекиваним предностима, изазовима, потенцијалним препрекама и стратегијама за успјешно увођење ових возила у Војску Србије. Ова метода пружа платформу за консултације са стручњацима и доносиоцима одлука, што помаже у информисаном планирању и доношењу одлука о будућем коришћењу возила на хибридни и електрични погон у војсци.

Важно је напоменути да је "Делфи" метода колективни процес предвиђања који користи мишљења и искуства стручњака. Резултати и закључци произведени "Делфи" методом могу пружити увид и препоруке, али их треба додатно истражити и процјенити прије доношења конкретних одлука о увођењу возила на хибридни и електрични погон у Војску Србије.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Bojadziev, G., Bojadziev, M., Fuzzy Logic for Business, Finance and Management, Hackensack, NJ: Word Scientific, Singapore, 2007.

[2] Denise M. Kramer and Gordon G. Parker, “Current state of military hybrid vehicle development,”

[3] International Journal of Electric and Hybrid Vehicles 3, no. 4 (2011): 378.

[4] Internet stranica: https://electrek.co/2022/02/09/the-us-army-is-going-electric-and-wants-to-be-net-zero-by-2050/

[5] Revision Military Incorporated, “Revision wins new $20M contract to supply silent watch battery systems for Canada’s reconnaissance light armored vehicles,” last accessed 3 February 2016, https://www.revisionmilitary.com/news/silent-watch-battery-pack-systems/.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# CAPABILITIES ASSESSMENT OF WEAPON SYSTEMS FOR LIGHT INFANTRY COMBAT VEHICLES

JOVICA BOGDANOV[1], ZORAN BAJIĆ[2]

[1] University of Defence in Belgrade, jovica.bogdanov@va.mod.gov.rs
[2] University of Defence in Belgrade – Military Academy, zoran.bajic@va.mod.gov.rs

---

***Abstract:*** *Infantry fighting vehicles (IFV) are one of the most numerous combat vehicles in inventory of every modern armed force. They are considered as the most universal type of combat vehicles, armed with weapon systems that are used against different targets. Eight different weapon systems on light IFVs with corresponding ammunition combat loads were considered in order to evaluate their offensive capabilities and to explore possible ways of modernisation of "BVP M80A" and similar light IFVs in existing military inventories. TOPSIS, COPRAS and MABAC multi-criteria decision making methods were used with 7 appropriately defined criteria that represent different fire missions of an IFV. All considered weapon systems were chosen with minimal weight increase in order to keep existing mobility and internal space of the considered vehicle.*

***Keywords:*** *Operational Research, Light Infantry Fighting Vehicle, Weapon Systems, Modernisation.*

---

## 1. INTRODUCTION

An IFV can be described by a few major performance parameters, such as number of crew and mounted troops, and with corresponding offensive and defensive capabilities. In general, vehicle's weapon system, in some situations multiplied by weapons of dis. On the other hand, defensive capabilities are provided by appropriate protection subsystems, usually classified as passive, reactive and active. Passive protection was the first one used on armoured combat vehicles, while active protection systems are rapidly developing in the last couple of decades [1-2].

First models of IFVs were introduced approximately half a century ago in order to replace contemporary armoured personnel carriers (APC). Mainly, they were developed to provide better offensive capabilities, since APCs are combat vehicles that provide light protection to mounted troops with armament primarily intended to be effective against unprotected and lightly protected targets, and was primarily composed of one or two machine guns (MG). Contrary, requirements for an IFV were defined in order to be able to effectively fight against targets with significant level of protection. Therefore, IFVs were armed with autocannons, automatic grenade launchers (AGL), recoilless rifles, mortars etc. Also, most IFVs are also armed with guided missiles that are used against tanks, fortifications and other valuable targets at greater distances. Also, universal nature of an IFV is shown by its weapon systems.

Since then, depending on a doctrine, IFVs have been used in armoured, armoured reconnaissance, armoured cavalry and heavily equipped infantry units ("mechanised infantry"). Accordingly, since various roles have emerged, different vehicle concepts were adopted. In modern perspective, IFVs can be classified by their combat weight in two categories: light or heavy. Noticeably, all older models were light, weighing 13–15 t, having small dimensions and low level of ballistic protection. Survivability of such IFVs was highly dependent on vehicle's manoeuvrability and clever usage of terrain characteristics. Examples of such IFVs are: Yugoslav "BVP M80" and "M80A", Soviet "BMP-1", "BMP-2" and "BMD" series, French "AMX-10P". Heavy IFVs started to appear in next generations of IFVs, weighing 20–30 t, characterised by significantly better ballistic protection.

## 2. WEAPON SYSTEMS ON LIGHT INFANTRY FIGHTING VEHICLES

Modernisation is a cost-effective way to improve capabilities of a combat system. Since their first introduction, many armed forces have made efforts to improve their large fleet of IFVs. Offensive capabilities are mainly dependent on assortment of its weapons and size and assortment of its munitions combat load.

Weight and volume are one of the most important limiting factors in the decision-making process on IFV weapon systems. Therefore, solutions are often found using compromises that directly affect capabilities. As previously mentioned, IFVs are developed according to universal offensive capabilities that can be classified according to target types: anti-personnel and anti-armour.

High-explosive (HE) and high-explosive incendiary (HEI) projectiles are the most efficient against personnel and other unprotected targets, producing large number of lethal fragments upon detonation. Kinetic projectiles fired from MGs, such as ball, tracer, armour-piercing (AP), armour-piercing incendiary (API) and armour-piercing tracer (AP-T), are also used against same targets. Conversely, different types of projectiles are used in anti-armour roles: AP, API, high-explosive anti-tank (HEAT) and high-explosive squash head (HESH). Some of these projectiles can be used in anti-personnel role also, often with less effect. Some types of munitions are designed for both purposes, having combined armour-piercing and fragmentation effect. Such projectiles are known as high-explosive dual purpose (HEDP) and semi armour-piercing (SAP).

It should be mentioned that most of the weapon systems on IFVs are used in direct fire roles. But, indirect fire is favoured in many tactical situations, providing several advantages, such as: possibility of hitting targets behind obstacles, projectile effect directed against upper surfaces of combat vehicles with significantly larger dimensions, lower level of ballistic protection and having sensitive electronic and optoelectronic equipment, dispersion of projectiles due to the inherent inaccuracy of a weapon system is significantly lesser issue compared to the direct fire, since "misses" will still produce effect in a zone around a target and firing position is less visible to an opposing force.

Possible improvements of offensive weapon systems on "BVP M80A" (Figure 1) with combat load of older models of ammunition were considered. For comparison, weapon systems on existing IFVs and possible modernisation packs of comparable weight and volume were considered and evaluated also. Alterations of ammunition combat load is often done during the modernisation efforts, since no significant changes on other subsystems are usually needed. Capabilities of guided missiles and electronics for fire control are not considered in this research due to their complexity and general lack of reliable data.

**Figure 1:** Light infantry fighting vehicles: "BVP M80A" with 20 mm autocannon, "FNSS ACV-15" with 25 mm autocannon and "BMP-1U Shkval" with 30 mm autocannon and 30 mm AGL [4-6]

Considered weapon systems with appropriate ammunition combat loads are listed in Table 1. Characteristics of ammunition is represented by HE or HEI charge weight (in grams) or maximum penetration of AP, API and HEAT projectiles (in mm of rolled homogenous armour; RHA) at 1000 m distance from IFV, perpendicularly to the target surface. Weight increase was calculated as a differences in weapon and combat load weights, and for all considered variants was up to 300 kg. It can be considered that such minimal weight increase would have no significant effect on mobility of a modernised IFV.

**Table 1:** Weapon systems and ammunition combat loads

| Infantry fighting vehicle | Weapon system and ammunition combat load (pcs) | Ammunition characteristics |
|---|---|---|
| "BVP M80A" | Autocannon: 20 mm M55; HEI (240), API (160)<br>MG: 7.62 mm M86; Ball (1800), API (200) | HEI: 7 g, API: 10 mm RHA;<br>API: 4 mm RHA |
| "BVP M80A1 Vidra" | Autocannon: 30 mm M86; HEI (150), API (50)<br>MG: 7.62 mm M86; Ball (1800), API (200) | HEI: 39 g, API: 45 mm RHA;<br>API: 4 mm RHA |
| "BMP-1U Shkval" (UA) | Autocannon: 30 mm 2A72; HEI (250), API (100)<br>MG: 7.62 mm PKT; Ball (1800), API (200)<br>AGL: 30 mm AG-17; HE (116) | HEI: 49 g, API: 45 mm RHA;<br>API: 4 mm RHA<br>HE: 48 g |
| "LAV-25" (US) | Autocannon: 25 mm M242; HEI (280), API (140)<br>MG: 7.62 mm M240C; Ball (1000), API (320) | HEI: 32 g, API: 30 mm RHA;<br>API: 8 mm RHA |
| IFV with combat module "Dragar" | Autocannon: 25 mm M811; HEI (175), API (45)<br>MG: 7.62 mm MAG 58; Ball (1500), API (500) | HEI: 32 g, API: 30 mm RHA;<br>API: 8 mm RHA |
| Modernisation pack No. 1 | Autocannon: 20 mm M55; HEI (240), API (160)<br>MG: 7.62 mm M86; Ball (1800), API (200) | HEI: 7 g, API: 40 mm RHA;<br>API: 8 mm RHA |
| Modernisation pack No. 2 | Autocannon: 20 mm M55; HEI (240), API (160)<br>MG: 7.62 mm M86; Ball (1800), API (200)<br>AGL: 30 mm M93; HE (29) | HEI: 7 g, API: 40 mm RHA;<br>API: 8 mm RHA |
| Modernisation pack No. 3 | Heavy MG: 12.7 mm M87; API (600)<br>MG: 7.62 mm M86; Ball (1800), API (200)<br>AGL: 30 mm AG-17; HEDP (300) | API: 22 mm RHA;<br>API: 8 mm RHA<br>HEDP: 35 g and 40 mm RHA |

Modernisation pack No. 1 is essentially modernisation of the standard combat load only, consisting of modern types of ammunition with better capabilities. Accordingly, this modernisation causes no significant weight increase.

Modernisation pack No. 2 is an upgrade of previously mentioned modernisation pack, with added standard AGL 30 mm M93 and reduced ammunition combat load, having one ready-to-use ammunition box with 29 rounds. Estimated weight increase of this modernisation is up 154 kg.

More complex modernisation is considered in Modernisation pack No. 3, where autocannon was replaced by 12.7 mm heavy MG and 30 mm AGL with an increased combat load. Ammunition with HEDP rounds were considered also. This type of ammunition simultaneously has shaped charge and fragmentation effect, so it is considered in both anti-personnel and anti-armour roles. Estimated weight increase of this modernisation is 32 kg.

## 3. WEAPON SYSTEM CAPABILITIES ASSESMENT METHODOLOGY

Evaluation of considered weapon systems was done using three different multi-criteria decision making (MCDM) methods:

- TOPSIS (engl. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) [7],
- COPRAS (engl. COmpressed PRoportional ASsessment) [8] and
- MABAC (engl. Multi-Attributive Border Approximation area Comparison) [9].

Following quantified criteria were used:

- $C_1$: Direct fire effective range (m),
- $C_2$: Indirect fire effective range (m),
- $C_3$: Anti-personnel kinetic projectiles, represented by sum of all rounds for MGs (pcs),

- $C_4$: Anti-personnel HE projectiles, represented by total explosive weight in all HE, HEI and HEAT projectiles (kg),
- $C_5$: Armour-piercing projectiles, represented by sum of maximum penetration of all AP and API projectiles (m RHA),
- $C_6$: Anti-armour HEAT projectiles, represented by sum of maximum penetration of all HEAT and HEDP rounds (m RHA), and
- $C_7$: Maximum armour penetration of a single projectile in the combat load (mm RHA)

Values of criteria for considered IFVs are listed in Table 2.

**Table 2:** Values of criteria for considered infantry fighting vehicles

| **Infantry fighting vehicle** | **Capability criteria of weapon systems** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **$C_1$ (m)** | **$C_2$ (m)** | **$C_3$ (pcs)** | **$C_4$ (kg)** | **$C_5$ (m RHA)** | **$C_6$ (m RHA)** | **$C_7$ (mm RHA)** |
| “BVP M80A” | 1500 | 0 | 2000 | 1.680 | 2.400 | 0.000 | 10 |
| “BVP M80A1 Vidra” | 3000 | 0 | 2000 | 5.850 | 3.050 | 0.000 | 45 |
| “BMP-1U Shkval” (UA) | 3000 | 1700 | 2000 | 17.818 | 5.300 | 0.000 | 45 |
| “LAV-25” (US) | 2000 | 0 | 1320 | 8.960 | 6.760 | 0.000 | 30 |
| IFV with “Dragar” (FR) | 2000 | 0 | 2000 | 5.600 | 5.350 | 0.000 | 30 |
| Modernisation pack No. 1 | 1500 | 0 | 2000 | 1.680 | 8.000 | 0.000 | 40 |
| Modernisation pack No. 2 | 1500 | 1700 | 2000 | 3.072 | 8.000 | 0.000 | 40 |
| Modernisation pack No. 3 | 2000 | 1700 | 2600 | 10.500 | 14.800 | 6.000 | 40 |

Weight coefficients for criteria were determined using linear BWM (Best-Worst Method) [10], with following opinion setup:

- best criterion is $C_1$: Direct fire effective range, and
- worst criterion is $C_3$: Anti-personnel kinetic projectiles.

Selected decision-making preferences on “the Best criterion over all the other criteria” and on “all the other criteria over the Worst” and weight coefficients $W_i$ are listed in Table 3. The pairwise comparison consistency level is acceptable, since Input-Based CR is 0,21429.

**Table 3:** Selected decision-making preferences in linear BWM

| **Infantry fighting vehicle** | **Capability criteria of weapon systems** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **$C_1$ (m)** | **$C_2$ (m)** | **$C_3$ (pcs)** | **$C_4$ (kg)** | **$C_5$ (m RHA)** | **$C_6$ (m RHA)** | **$C_7$ (mm RHA)** |
| Best to Others | 1 | 4 | 8 | 3 | 5 | 7 | 2 |
| Others to the Worst | 8 | 5 | 1 | 6 | 4 | 2 | 7 |
| Weight Coefficients, $W_i$ | 0.35569 | 0.10671 | 0.03557 | 0.14228 | 0.08537 | 0.06098 | 0.21341 |

Results of capabilities assessment for considered weapon systems using TOPSIS, COPRAS and MABAC method are listed in Tables 4-6, respectively.

**Table 4:** Results of capability assessment using TOPSIS method

| **Infantry fighting vehicle** | **$Q_i$** | **Rank** |
|---|---|---|
| “BVP M80A” | 0.0191 | 8 |
| “BVP M80A1 Vidra” | 0.4089 | 3 |
| “BMP-1U Shkval” (UA) | 0.5448 | 2 |
| “LAV-25” (US) | 0.2873 | 5 |

| **Infantry fighting vehicle** | $Q_\mathrm{i}$ | **Rank** |
|---|---|---|
| IFV with combat module “Dragar” (FR) | 0.2412 | 7 |
| Modernisation pack No. 1 | 0.2542 | 6 |
| Modernisation pack No. 2 | 0.3361 | 4 |
| Modernisation pack No. 3 | 0.5712 | 1 |

**Table 5:** Results of capability assessment using COPRAS method

| **Infantry fighting vehicle** | $S_\mathrm{i}^+$ | $S_\mathrm{i}^-$ | $Q_\mathrm{i}$ | $P_\mathrm{i}$ | **Rank** |
|---|---|---|---|---|---|
| “BVP M80A” | 0.0444 | 0.0043 | 0.0842 | 58.99% | 6 |
| “BVP M80A1 Vidra” | 0.1034 | 0.0151 | 0.1149 | 80.46% | 4 |
| “BMP-1U Shkval” (UA) | 0.1390 | 0.0460 | 0.1428 | 100.00% | 1 |
| “LAV-25” (US) | 0.0689 | 0.0231 | 0.0764 | 53.51% | 8 |
| IFV with combat module “Dragar” (FR) | 0.0704 | 0.0144 | 0.0824 | 57.71% | 7 |
| Modernisation pack No. 1 | 0.0673 | 0.0043 | 0.1071 | 75.01% | 5 |
| Modernisation pack No. 2 | 0.1029 | 0.0079 | 0.1246 | 87.29% | 2 |
| Modernisation pack No. 3 | 0.1150 | 0.0271 | 0.1213 | 85.00% | 3 |

**Table 6:** Results of capability assessment using MABAC method

| **Infantry fighting vehicle** | $Q_\mathrm{i}$ | **Rank** |
|---|---|---|
| “BVP M80A” | -0.1257 | 8 |
| “BVP M80A1 Vidra” | 0.0555 | 4 |
| “BMP-1U Shkval” (UA) | -0.0346 | 6 |
| “LAV-25” (US) | -0.0568 | 7 |
| IFV with combat module “Dragar” (FR) | -0.0180 | 5 |
| Modernisation pack No. 1 | 0.0958 | 2 |
| Modernisation pack No. 2 | 0.0835 | 3 |
| Modernisation pack No. 3 | 0.1425 | 1 |

Total rank of $i$-th weapon systems was calculated using formula (Table 7):

$$R_\mathrm{i} = \frac{R_\mathrm{i,TOPSIS} + R_\mathrm{i,COPRAS} + R_\mathrm{i,MABAC}}{3} \tag{1}$$

**Table 7:** Ranking of weapon systems on light infantry fighting vehicles

| **Total rank** | **Infantry fighting vehicle** | **Ranks with individual methods** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **TOPSIS** | **COPRAS** | **MABAC** |
| 1. | Modernisation pack No.3 | 3 | 1 | 1 |
| 2. | “BMP-1U Shkval” (UA) | 1 | 2 | 6 |
| 3. | Modernisation pack No.2 | 2 | 4 | 3 |
| 4. | “BVP M80A1” | 4 | 3 | 4 |
| 5. | Modernisation pack No.1 | 5 | 6 | 2 |
| 6. | IFV with combat module “Dragar” (FR) | 7 | 7 | 5 |
| 7. | “LAV-25” (US) | 8 | 5 | 7 |
| 8. | “BVP M80A” | 6 | 8 | 8 |

Total ranking is generally consistent with ranks obtained by individual methods, with only couple cases of deviations between ranks. This is especially visible for weapon systems ranked 2 and 5, where ranks by MABAC are significantly different, but ranks with other methods are consistent.

The best ranked are weapon systems that have indirect-fire capability using AGL. Although this capability has weight coefficient of only 0.10671, it can be seen as crucial for better ranking using this methodology. Additionally, AGLs can also provide direct-fire capability similar to autocannons, while ammunition for AGL can have HEAT or HEDP projectiles with combined anti-armour and anti-personnel capabilities. Conversely, this kind of ammunition is not used in 20–30 mm autocannons, so their anti-armour capabilities of are based on AP and API projectiles only.

Weapon systems on IFV with 20–25 mm autocannons are lower ranked, since their projectiles are significantly less capable against all targets compared with 30 mm autocannons. Interestingly, the Modernisation pack No.1 with new ammunition combat load for existing weapons, is better ranked than weapon systems with 25 mm autocannons that are still considered as acceptable solutions for the most modern light IFVs (“LAV-25”, “FNSS ACV-15” etc.) and even heavier types, (“M2/M3 Bradley”, “Dardo”, “Freccia”, “VBCI”, “Bionix 25” etc.). This indicates that this is still a viable and cost-effective modernisation of light IFVs with 20 mm autocannon.

## 4. CONCLUSIONS

The most preferable ways of modernisation of existing and development of new IFVs include weapon systems with larger calibre autocannons (30 mm and larger, even up to 57 mm), which is severely limited for light IFVs. In this paper, capabilities of 8 different weapon systems on light IFV were evaluated using 3 MCDM methods (TOPSIS, COPRAS and MABAC), with original weapon and combat load configuration of “BVP M80A” and 7 other comparable weapon systems and modernisation packs were considered. Criteria were chosen as representative for different fire missions of a modern IFV. Also, indirect fire capability was considered as valuable for many combat missions. According to the results, following conclusions can be made:

- integration of AGL with large combat load of HEDP ammunition is highly preferable, and can be considered as highly competitive to autocannons of similar calibre,
- larger calibre autocannons with larger combat load are preferable, but only within IFV’s weight and internal space limitations, and
- development of combat loads with more capable ammunition is fast and very cost-effective way of modernisation of existing light IFVs, even with 20 mm autocannon.

## LITERATURE

[1] Haug, D., & Wagner, H. J. (2009). Active hard kill protection systems – Analysis and evaluation of different system concepts. Strategie & Technik, 52, 42-46.

[2] Valpolini, P. (2013). Actively keeping threat at bay. In Compendium Armoured Vehicle Protection (4–11). Bangkok: Armada International.

[3] Bogdanov, J., Chabane, A., Pamučar, D., & Bajić, Z. (2021). Analysis of active protection systems for combat vehicles. Proc. of 48th International Symposium on Operational Research (Sym-Op-Is 2021), Banja Koviljača, Serbia, 515-520.

[4] www.vs.rs (20.01.2021.)

[5] FNSS Savunma Sistemleri A.Ş. (2015). ACV-15 Armoured Combat Vehicle – Brochure. Golbasi, Turkey.

[6] www.zhbtz.com (15.10.2015.)

[7] Hwang, C. L., & Yoon, K. S., (1981). Multiple attribute decision making: Methods and applications. Berlin: Springer Verlag.

[8] Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., Banaitis, A., & Kvederyte, N. (2004). Housing credit access model: the case for Lithuania. European Journal of Operational Research, 155(2), 335-352.

[9] Pamučar, D., & Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centres using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). Expert Systems with Applications, 42, 3016-3028.

[10] Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. Omega, 64, 126-130.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ТОЛЕРАНЦИЈА НА СТРЕС И ЦРТЕ ЛИЧНОСТИ ВОЗАЧА – ПОЧЕТНИКА

# STRESS TOLERANCE AND PERSONALITY TRAITS OF NOVICE DRIVERS

ЛИДИЈА ТОТ[1], ТЕОДОРА ЈОВАНОВИЋ[2]

[1] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, lidija.tot11@gmail.com
[2] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, teodorakladovo@gmail.com

---

***Резиме:*** *У раду је приказано истраживање корелације особина личности, толеранције на стрес и понашања возача у саобраћају. Узорак испитаника чинило је 56 особа оба пола, без положеног возачког испита, старости између 18 и 23 године. Подаци су прикупљани током 2023. године на Војној академији од стране аутора у склопу пројекта Модел возача у транспортним јединицама Војске Србије ВА-ТТ/20-25. Варијабле у овом истраживању су биле тест личности и Determination тест из батерије DRIVER VIENNA TEST SYSTEM (ВТС). Подаци су обрађени у статистичком програму SPSS, помоћу Пирсоновог коефицијента корелације (р). Показало се да постоји статистички значајна повезаност између црта личности, али не и толеранције на стрес. То указује на то да црте личности могу бити важан фактор који утиче на реакцију особа у стресним ситуацијама у вожњи, али да толеранција на стрес није директно повезана са цртама личности.*

***Кључне речи:*** *понашање возача у саобраћају, Vienna test system, HEXACO тест*

***Abstract:*** *The paper presents a research on the colerration between personality traits, tolerance to stress and the behavior of drivers in traffic. The sample of respondents consisted of 56 people of both sexes, without a driving test, aged between 18 and 23. The data was collected during 2023 at the Military Academy by the author as part of the project Model of drivers in transport units of the Serbian Army VA-TT/20-25. The variables in this research were the personality test and the Determination test from the DRIVEPLS VIENNA TEST SYSTEM (VTS) battery. The data were processed in the statistical program SPSS, using the Pearson correlation coefficient (r). It was shown that there is a statistically significant relationship between personality traits, but not stress tolerance. This indicates that personality traits can be an important factor influencing people's reactions in stressful driving situations, but that stress tolerance is not directly related to personality traits.*

***Keywords:*** *driver's behavior in traffic, Vienna test system, HEXACO test*

---

## 1. УВОД

Људи су подложни стресу у оној мери у којој процењују неку ситуацију као стресну. Људи морају свесно да процене да их ситуација у којој се налазе на неки начин угрожава и да неће моћи да изађу на крај са тим потенцијалним опасностима или захтевима што доводи до испољавања стреса. Неке професије су изложене стресу више, а неке мање. [3] Међу професијама изложеним стресу, возачи су врло високо рангирани. Родоначелник теоријске концепције о стресу Ханс Сели стрес дефинише као „Општу неспецифичну реакцију организма која је изазвана неповољним и штетним утицајима из спољне и унутрашње средине“. Према медицинском схватању, стрес је било које дејство спољашњег или унутрашњег порекла које нарушава природну равнотежу организма тако да се јавља реакција прилагођавања праћена различитим физичким и психолошким поремећајима који могу довести до настанка болести. [4] У обичном говору израз стрес означава необичне, непријатне, или тешке догађаје које људи свакодневно доживљавају у животу или на послу.

Без обзира на разлике у дефиницијама стреса, очигледно је да стрес подразумева одређене утицаје на организам и промене настале под дејством тих утицаја. Стресори су изазивачи стреса, а дефинишемо их као било какав захтев физичке или психичке природе који нам се поставља у процесу живљења и рада. [1]

Фактори који доминантно утичу на безбедност саобраћаја су возач, возило, пут и окружење. Улога особина личности у понашању возача је проблем који је привукао пажњу бројних истраживача, нарочито због тога што се људски фактор показује као најзначајнији узрок саобраћајних незгода. Понашање возача у саобраћају је врло сложено јер укључује реакције на већи број истовремених информација у ситуацијама које се стално мењају. Од квалитета и брзине реаговања возача зависиће његова безбедност и безбедност других учесника у саобраћају. Питање које се може поставити је да ли специфичност ситуација у којој особа долази док вози (нпр. конфликти са другим особама у саобраћају од којих је возач физички одвојен и слично) може испровоцирати понашања која иначе нису карактеристична за особу у бројним другим животним ситуацијама, или, као што сматрају многи аутори, „Човек вози како живи“. Међутим, истраживања која су се бавила понашањем возача као издвојеним феноменом сугеришу да повезаност између особина личности и понашања возача постоји, и да природа те повезаности углавном подржава став да се људи приликом вожње понашају на сличан начин као и у другим ситуацијама. Тако су резултати студије спроведени на узорку младих из Норвешке [2] указали на значајну корелацију анксиозности и тражења сензација са ризичном вожњом, а такође и тражење сензација и ризичне вожње са незгодама у саобраћају.

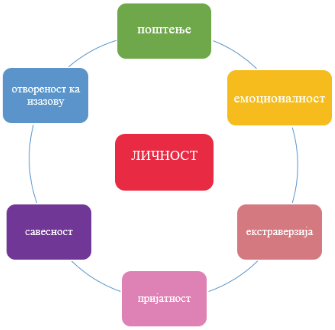
## 2. МЕТОДОЛОГИЈА РАДА

Узорак: Узорак испитаника чинило је 56 особа оба пола (16 девојака и 40 момака), укључујући ученике Средње стручне војне школе „1300 каплара“ и кадете Војне академије модула саобраћај и транспорт, без положеног возачког испита, старости између 18 и 23 године.

Процедура: подаци су прикупљани током 2023. године на Војној академији од стране аутора у склопу пројекта Модел возача у транспортним јединицама Војске Србије ВА-ТТ/20-25.

Варијабле у овом истраживању представљају 6 димензија личности HEXACO теста и Determination тест из батерије DRIVEPLS VIENNA TEST SYSTEM (ВТС).

У истраживању су примењена два инструмента: HEXACO тест личности и Vienna test system. Шестодимензионални модел личности HEXACO је лексички модел који обухвата следећих 6 димензија или фактора личности: поштење (Х од Honesty), емоционалност (Е од Emotionality), екстраверзија (Х од Extraversion), пријатност (А од Agreeableness), савесност (С од Conscientiousness) и отвореност ка искуству (О од Opennes to experience). Модел су креирали Кибеом Ли и Мајкл Ештон.



**Слика 1:** Димензије HEXACO теста

*Поштење* - високи скорови подразумевају одсуство манипулације зарад личне користи, поштовање правила, незаинтересованост за раскош и луксуз, и одсуство уверења да особи припадају посебне привилегије. Ниски скорови подразумевају склоност манипулацији зарад добити, спремност на кршење правила за личне циљеве, мотивацију за стицањем личне користи и снажан осећај властите важности.

*Емоционалност* - високи скорови подразумевају страх од физичких опасности, анксиозност, потребу за емоционалном подршком и изражену емпатију ка другима. Ниски скорови подразумевају смањен страх од физичке повреде, емоционалну стабилност и под стресом и смањену потребу за дељење брига са другима, као и емоционалну дистанцираност од других.

*Екстраверзија* - високи скорови подразумевају позитивну слику о себи, сигурност у улози вође, уживање у интеракцијама са другима, позитивна осећања, ентузијазам и енергију. Ниски скорови подразумевају доживљај сопствене непопуларности, нелагодност кад се бива у центру пажње, равнодушност према друштвеним активностима и недостатак живости и оптимизма.

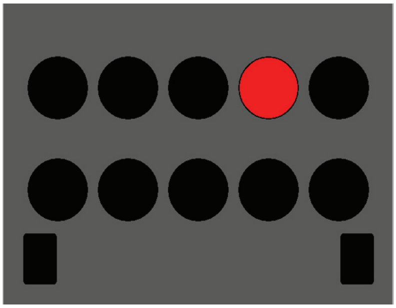
*Пријатност* - високу скорови подразумевају склоност ка праштању, благост у оцени других, спремност на компромис и сарадњу са другима, као и добру контролу беса. Ниски скорови подразумевају често замерање другима, критику усмерену на туђе недостатке, тврдоглаво брањење својих ставова и интензивно испољавање беса као одговор на малтретирање.

*Савесност* - високи скорови подразумевају добру организацију времена, посвећеност дисциплинованим сврсисходним активностима, тежњу ка тачности и перфекционизму и пажљиво доношење одлука. Ниско скорови подразумевају немар према обавезама и распоредима, избегавање тежих задатака или циљева, ниске критеријуме за извршење задатака и импулсивно, непромишљено доношење одлука.

*Отвореност ка искуству* - високи скорови подразумевају уживање у лепоти и уметности, радозналост у потрази за знањем, маштовитост у свакодневном животу и интересовање за неуобичајене идеје. Ниски скорови подразумевају незаитересованост за уметност, недостатак интелектуалне радозналости, неупуштање у креативне активности и уздржаност према неконвенционалним идејама.

Vienna test system (ВТС) је компјутеризовано, објективно средство за процену које се састоји од интерактивних тестова са способношћу анализе различитих конструкција важних за возаче са различитих аспеката саобраћајне психологије. Једна од главних предности аустријског ВТС-а је та што обезбеђује валидан и поуздан поступак тестирања којим се могу идентификовати карактеристичне особине личности возача и њихове когнитивне и психомоторне активности. Једно од њих је и реактивна толеранција на стрес.

**Слика 2**: Приказ инструмента Vienna Test System-а



**Слика 3**: Изглед интерфејса

Тест процењује реактивну толеранцију на стрес, пажњу и брзину реакције испитаника. Тест детерминације је сложен тест реакције са више стимулуса који подразумева приказивање обојених стимулуса и звучних сигнала на које испитаник реагује притискањем одговарајућих тастера на панелу за одговоре и ножних педала. Стимулуси су представљени на три различита начина: (1) у адаптивном режиму, у коме се брзина прилагођава нивоу перформанси испитаника, (2) у режиму без временског ограничења и (3) у режиму реакције са фиксним временским лимитом. У зависности од стимулуса, бодују се варијабле: средње време реакције, број тачних реакција (на време, одложено), број нетачних реакција, као и број изосталих реакција. Елемент стреса произилази из потребе да се дају континуирани, брзи и различити одговори на стимулусе који се брзо мењају. С обзиром да је презентација теста адаптивна, сваки испитаник ће одговарати на стимулусе који су за њега довољно фреквентни да долази до ситуације пренапрезања и у којој не може да даје потребне одговоре. ДТ се може користити за истраживање понашања под различитим нивоима психофизичког стреса. Тест се користи за регрутацију на позицијама са захтевима везаним за безбедност (процене безбедности), за развој особља, у клиничкој неуропсихологији, у саобраћајној психологији и у спортској психологији. Време тестирања форме теста у тест батерији C1 је приближно 6 минута (укључујући фазу инструкција и вежбе). За све форме теста поузданост главних варијабли је између p = 0,98 и p = 0,99.

Обрада података: Подаци су обрађени у статистичком програму SPSS, помоћу Пирсоновог коефицијента корелације (r) који се израчунава помоћу израза (1):

$$r = \frac{\sum xy}{N \cdot SD_x \cdot SD_y} \tag{1}$$

где су: $x$, $y$ – варијабле;

$N$ – број испитаника;

$SD_x$ и $SD_y$ – стандардне девијације варијабли $x$ и $y$ (2)

$$SD_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n} - x^{-2}} \qquad SD_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{n} - y^{-2}} \tag{2}$$

Даља обрада података вршена је t - тестом (3) и помоћу једноструке линеарне регресије:

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} \tag{3}$$

## 3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Узорак испитаника је представљала група од 56 лица састављена од кадета Војне академије и ученика Средње струне војне школе „1300 каплара“. У узорку је било заступљено 29% особа женског пола и 71% особа мушког пола.

Показало се да постоји статистички значајна повезаност између црта личности, али не и толеранције на стрес. Међусобно су значајно били повезани поштење и пријатност (r = 0,383; p < 0,004), поштење и савесност (r = 0,435; p < 0,001), емотивност и пријатност (r = -0,297; p<0,004), екстраверзија и пријатност (r = 0,537; p < 0,000), екстраверзија и савесност (r =0,692; p < 0), пријатност и савесност (r = 0,435, p < 0,001), отвореност за нова искуства и емотивност (r = -0,316; p < 0,018), отвореност за нова искуства и пријатност (r = -0,474; p < 0), отвореност за нова искуства и савесност (r = 0,265; p < 0,048).

**Табела 1**: Приказ резултата

| | M | SD |
|---|---|---|
| Determination Test | 63,76 | 26,44 |
| поштење | 3,63 | 0,50 |
| емотивност | 2,37 | 0,41 |
| екстраверзија | 3,97 | 0,54 |
| пријатност | 3,45 | 0,41 |
| савесност | 4,01 | 0,56 |
| Отвореност за нова искуства | 3,29 | 0,55 |

## 4. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА

Резултати истраживања показују да постоји статистички значајна повезаност између одређених црта личности, али не и толеранције на стрес. То указује на то да црте личности могу бити важан фактор који утиче на реакцију особа у стресним ситуацијама у вожњи, али да толеранција на стрес није директно повезана са цртама личности.

Анализирајући резултате, истиче се значајна повезаност између поштења и пријатности ($r = 0{,}383$, $p < 0{,}004$), што сугерише да особе које су склоније искрености имају тенденцију да буду пријатније у интеракцији са другим возачима или саобраћајним ситуацијама. Такође, примећује се и значајна повезаност између поштења и савесности ($r = 0{,}435$, $p < 0{,}001$), што указује да особе које су поштеније имају тенденцију да буду одговорније и савесније у вожњи.

Резултати такође показују повезаност између емотивности и пријатности, при чему се примећује негативна повезаност ($r = -0{,}297$). То указује да особе које су емотивније могу имати тенденцију да буду мање пријатне у вожњи или да имају веће емоционалне реакције на стресне ситуације у саобраћају. Интересантно је приметити да се екстраверзија показала повезаном са пријатношћу и савесношћу. То сугерише да екстровертни испитаници могу бити пријатнији у вожњи и показивати већу савесност у обављању возачких задатака у оквиру постављених мисија. Такође, примећује се повезаност између пријатности и савесности, што указује да особе које су пријатније могу такође бити савесније у вожњи.

Такође, резултати показују повезаност између отворености за нова искуства и емотивности, при чему се примећује негативна вредност Пирсоновог коефицијента корелације ($r = -0{,}316$). Ово сугерише да особе које су отвореније за нова искуства могу бити мање емотивне у вожњи. Такође, примећује се негативна повезаност између отворености за нова искуства и пријатности, што указује да отвореније особе могу имати тенденцију да буду мање пријатне у вожњи.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Резултати истраживања показују сложену повезаност између одређених црта личности и толеранције на стрес у вожњи возача почетника. Индивидуалне разлике и стил вожње, као и ставови наметнути у току одрастања, али и многе друге карактеристике могу имати значајан утицај на испољавање црта личности и толеранције на стрес. Да би се боље разумео проблем истраживања и како би се развиле стратегије за унапређење сигурности у вожњи, потребно је додатно истраживање које би у обзир узело и индивидуалне карактеристике возача.

Имајући у виду да је рад обухватио возаче почетнике, могло би се размотрити да ли се ови резултати разликују у поређењу са професионалним возачима Војске Србије. Возачи почетници можда имају различите нивое толеранције на стрес у вожњи у поређењу са возачима са дугогодишњим искуством, а црте личности можда имају различиту улогу у њиховом понашању. Још један аспект који би могао бити занимљива варијабла за даљу дискусију је разматрање утицаја обуке на толеранцију на стрес и црте личности возача. Специфични програми обуке у Батаљону за обуку саобраћајне службе, у Краљеву (код 101) или интервенције усмерене ка возачима почетницима могу имати потенцијал да унапреде њихову толеранцију на стрес и развој одређених црта личности које су повезане са безбедном вожњом.

Такође, могло би бити корисно размотрити и друге варијабле које могу утицати на толеранцију на стрес у вожњи, попут искуства у саобраћају, социоекономског статуса или индивидуалних разлика у перцепцији ризика. Ове варијабле могу бити важне за боље разумевање фактора који обликују реакцију возача на стресне ситуације и идентификацију циљаних мера за унапређење сигурности у саобраћају.

## ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је проистекао из научноистраживачког пројекта ВА-ТТ/2/20-25 који финансира Министарство одбране Републике Србије.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Лојић Р. (2019) Лидерство, Медија центар „Одбрана“, Београд, 431-435.

[2] Oltedal, S., & Rundmo, T. (2006). The effects of personality and gender on risky driving behaviour and accident involvement. *Safety Science, 44*(7), 621–628

[3] Рот Н. (2017) Општа психологија, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд.

[4] Рот Н. (2010) Психологија личности, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# КРЕИРАЊЕ РУТА ЗА ПРАКТИЧНУ ОБУКУ ВОЗАЧА У ВОЈСЦИ СРБИЈЕ ПРИМЕНОМ МЕТОДА ТРАНСПОРТНИХ МРЕЖА

# CREATION OF ROUTES FOR PASSING THE DRIVER'S EXAMINATION USING TRANSPORT NETWORK METHODS

МАРИЈА ВИЋЕНТИЈЕВИЋ[1] АЛЕКСАНДАР ЗЛАТАНОВИЋ[2]

[1] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, majakv00vicentijevic@gmail.com
[2] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, acazlatkoo@gmail.com

---

***Резиме:*** *Обука учесника у саобраћају почиње још од најранијег периода, кроз васпитање и учење од стране родитеља, затим кроз васпитање и образовање у школи, а као завршни део оспособљавања за безбедно и самостално учешће у саобраћају сматра се обука кандидата за возаче моторних возила. Квалитетна обука возача представља један од предуслова за њихово безбедно учешће у саобраћају. Обука војних лица за возаче моторних возила реализује се у Батаљону за обуку саобраћајне службе, у Краљеву, у складу са Правилником о обуци и полагању возачког испита војних лица за возаче моторних возила. Практични део обуке обухвата и учешће у саобраћају на јавном путу. Тренутно се за обуку користе руте које су утврђене искуствено, много пре ступања на снагу наведеног правилника. У раду је приказана могућност примене модела транспортних мрежа за креирање нових рута које би се користиле за обуку војних лица за возаче моторних возила.*

***Кључне речи:*** *Рута, обука возача, транспортне мреже.*

***Abstract:*** *The training of road users starts from the earliest period, through upbringing and learning by parents, then through upbringing and education at school, and as the final part of training for safe and independent participation in traffic, the training of candidates for drivers of motor vehicles is considered. Quality driver training is one of the prerequisites for their safe participation in traffic. Training of military personnel for drivers of motor vehicles is carried out in the Traffic Service Training Battalion in Kraljevo, in accordance with the Rulebook on training and passing the driving test for military personnel for drivers of motor vehicles. The practical part of the training includes participation in traffic on public roads. Currently, routes are used for training that have been established empirically, long before the entry into force of the aforementioned rulebook. The paper shows the possibility of applying the transport network model to create new routes that would be used to train military personnel for motor vehicle drivers.*

***Keywords:*** *Route, driver training, transport networks.*

---

## 1. Увод

Развој друштва и промене у потребама људи условиле су и повећање степена моторизације, што индиректно условљава потребу за обуком возача који ће безбедно управљати тим возилима. Тежња да се повећа безбедност саобраћаја условила је потребу и да се осавремени и унапреди обука возача. Основне смернице за оспособљавање возача у Републици Србији се налазе у Закону о безбедности саобраћаја на путевима, којим су дефинисани теоријска и практична обука, права и обавеза кандидата на обуци, предавача теоријске обуке, инструктора вожње, возила за обуку и испитивача, као и полагање испита и услови за полагање испита за возача.

Имајући у виду да квалитетна обука возача представља један од предуслова за њихово безбедно учешће у саобраћају, у Војсци Србије је у протеклих десетак година извршено неколико измена Правилника о обуци и полагању возачког испита војних лица за возаче моторних возила (у даљем тексту: Правилник). Обука војних лица за возаче моторних возила реализује се у Батаљону за обуку саобраћајне службе, у Краљеву, у складу са наведеним правилником.

Практични део обуке возача, између осталог, обухвата и учешће у саобраћају на јавном путу. Тренутно се за обуку користе руте које су утврђене искуствено, много пре ступања на снагу наведеног правилника, од стране лица која су у то време спроводила обуку. У раду је приказана могућност примене модела транспортних мрежа за креирање нових рута које би задовољиле потребе обуке на путевима са различитим интензитетом саобраћаја.

## 2. ПРАКТИЧНА ОБУКА ВОЗАЧА У ВОЈСЦИ СРБИЈЕ

Практична обука војних лица за возаче моторних возила у Војсци Србије изводи се према распореду практичне обуке који представља детаљну разраду вежби зависно од категорије возила за коју се кандидат за возача оспособљава и категорије возила за коју поседује возачку дозволу. Распоред практичне обуке кандидата за возача садржи следеће податке [1]:

1) списак улица по насељеним местима у којима ће се обављати практична обука;
2) списак јавних путева ван насеља, односно њихових деоница на којима ће се обављати практична обука;
3) број и садржај часова предвиђен за извођење почетне практичне обуке;
4) број и садржај часова предвиђен за извођење прописаних полигонских радњи;
5) број часова предвиђен за извођење практичне обуке у саобраћају на путу;
6) оквирно просторно и временско одређење обављања радњи возилом и поступања возача на јавном путу у насељу и на јавном путу ван насеља;
7) број часова практичне обуке чији садржај одређује инструктор вожње зависно од нивоа постигнуте обучености и индивидуалних особина сваког кандидата за возача.

Практична обука кандидата за возаче спроводи се на полигону, аутодрому и на јавном путу током које се кандидати оспособљавају за самостално управљање моторним возилом полазећи од најједноставнијих радњи као што су покретање возила, па све до најкомплекснијих као што су претицање, обилажење, паркирања и слично [2]. Практична обука кандидата за возаче, након почетне обуке која се изводи на полигону, а пре изласка на јавни пут, обавља се на аутодрому „Берановац“.

Извођење практичне обуке у саобраћају врши се [1]:

1) на путу у насељу (у условима слабог, средњег и јаког интензитета саобраћаја);
2) на путу ван насеља (у условима слабог, средњег и јаког интензитета саобраћаја);
3) на путу у насељу и ван насеља (у дневно-ноћним и ноћним условима);
4) на мотопуту.

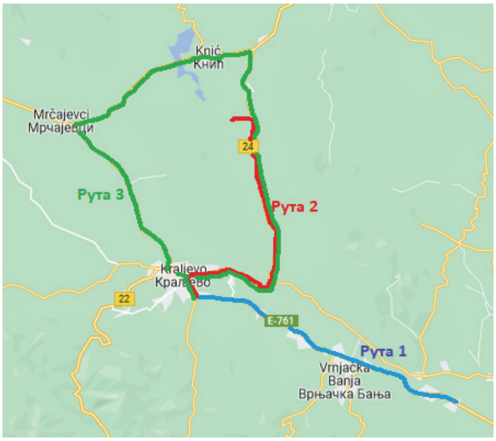
Час практичне обуке за возача се реализује у трајању од 45 минута, а број часова које кандидат може да има варира од степена његове обучености и теме која се реализује у току часа.

Практична обука кандидата за возача у ноћним условима врши се у оквиру временског периода који је као временски период за ноћну вожњу прописан Правилником о теоријској и практичној обуци кандидата за возача.

Тренутно се приликом практичне обуке кандидата за возаче у Војсци Србије на јавном путу, користе три руте:

- Рута 1: Краљево - Трстеник - Краљево
- Рута 2: Краљево - село Лесковац - Краљево
- Рута 3: Краљево - Мрчајевци - Кнић - Краљево или Краљево - Кнић - Мрчајевци - Краљево.

Наведене руте су приказане на слици 1.



**Слика 1:** Постојеће руте за обуку возача

Рута 1: Краљево - Трстеник - Краљево, јесте рута којом се пролази кроз делове који у највећој мери имају средњи интензитет саобраћаја. Кандидат се креће магистралним путем који повезује Краљево са Трстеником. На овој рути нема проласка кроз семафоризоване раскрснице што се може сматрати њеним недостатком. Рута је дугачка 55 km и за њено савладавање је потребно око 100 минута у условима средњег интензитета саобраћаја. Рута пролази кроз равничарски предео и нема значајних кривина.

Рута 2: Краљево - село Лесковац - Краљево, такође подразумева кретање магистралним путем према Крагујевцу. Руту карактерише средњи интензитет саобраћаја, с тим да један део руте пролази кроз градско подручје где има семафоризованих раскрсница и нешто је већи интензитет саобраћаја. Ова карактеристика представља предност ове руте у односу на руту 1, јер инструктори имају увид у понашање кандидата у условима градске вожње. Рута је дугачка 60 km и потребно је око 110 минута за њено савладавање. Руту једним делом карактерише правац, док се у другом делу јављају кривине.

Рута 3: Краљево - Мрчајевци - Кнић - Краљево или у другом смеру Краљево - Кнић - Мрчајевци - Краљево, јесте рута са средњим интензитетом саобраћаја која обухвата и део руте 2: Краљево - село Лесковац - Краљево. Кандидати се крећу из правца Краљева до непосредног уласка у Мрчајевце где се одвајају на раскрсници и прате пут ка Крагујевцу. Ова рута је најдужа са дужином од 88 km и за њено савладавање је потребно око 150 минута. Рута једним делом пролази градско подручје што је чини комплекснијом и инструкторима омогућава увид у понашање кандидата у условима градске вожње.

Приликом прорачуна времена потребног за савладавање рута мора се имати у виду да су Правилником о безбедности војних учесника у саобраћају прописане брзине кретања војних возила. Имајући у виду да се кандидати за возаче крећу у колони, највећа дозвољена брзина, прописана наведеним правилником је 40 km/h.

## 3. ПРИМЕНА МОДЕЛА ТРАНСПОРТНИХ МРЕЖА ЗА КРЕИРАЊЕ РУТА

Проблем пројектовања рута којима треба да се крећу саобраћајна средства (рутинг проблеми), заједно са проблемима пројектовања дневних, недељних или месечних редова вожње представљају типичне проблеме оперативног карактера [3].

Проблеми са којима се веома често сусрећемо су проблеми пројектовања рута којима треба да се крећу саобраћајна средства. Често је, неопходно да саобраћајна средства посете одређени број чворова у транспортној мрежи или да прођу тачно одређеним гранама у транспортној мрежи. У зависности од тога да ли саобраћајна средства треба да прођу одређеним гранама или да обиђу одређене чворове разликујемо проблеме покривања грана, односно проблеме пројектовања чворова [3].

Један од најпознатијих и највише изучаваних проблема у проблематици покривања грана је проблем кинеског поштара чије решење представља рута којом треба да се креће поштар, тако да растојање које пређе буде минимално, при чему сваку улицу треба да обиђе најмање једанпут и да се врати у чвор из ког је пошао. Проблем се може приказати на следећи начин. Нека је дата мрежа G=(N,A) и нека су познате дужине свих грана d(i,j)>0, (i,j) ∈ A. Наведени метод се успешно може применити и за проналажење рута за обуку кандидата за возаче у Војсци Србије, при чему величине d(i,j) могу да представљају време путовања између два чвора у мрежи, што би било значајно због утврђивања укупног време трајања часова за обуку. При томе, потребно је пронаћи циклус којим је могуће проћи кроз све гране мреже *G* најмање једанпут и за који важи:

$$\sum_{(i,j)\in A} S_{i,j} \cdot d(i,j) \rightarrow min \tag{1}$$

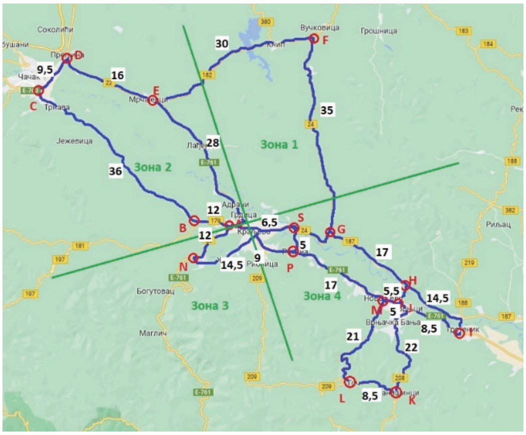
где је $S_{i,j}$ број пролазака кроз грану *(i,j)*.

Решење проблема представља Euler-ова тура, односно циклус којим се кроз сваку грану у мрежи пролази тачно једанпут. За решење наведеног проблема проналажења рута за обуку кандидата приказана је употреба Christofides-овог алгоритма који се састоји од следећих корака [3]:

- Корак 1: Пронаћи све чворове непарног степена у мрежи *G=(N,A)*. Нека их има *k*, где је *k* паран број.
- Корак 2: Пронаћи *k/2* парова ових чворова таквих да је укупна дужина грана између ових чворова минимална. Другим речима, пронаћи *k/2* најкраћих путева између уочених *k* чворова.
- Корак 3: За сваки *k/2* парова чворова додати вештачке гране паралелне постојећим на најкраћем путу између два чвора.
- Корак 4: Пронаћи Euler-ову туру у новој мрежи $G^{'}=(N,A^{'})$ која представља решење проблема кинеског поштара у оригиналној мрежи *G=(N,A)*. Дужина ове оптималне туре једнака је збиру дужина свих грана оригиналне мреже и дужина *k/2* најкраћих путева између уочених *k/2* парова чворова који су у оригиналној мрежи били чворови непарног степена.

Имајући у виду да се обука војних лица за возаче моторних возила у Војсци Србије реализује у Батаљону за обуку саобраћајне службе, у Краљеву, извршена је анализа саобраћајне мреже у околини Краљева како би се применом описаног алгоритма креирале нове руте за обуку возача које би задовољиле услове прописане Правилником.

За решавање конкретног проблема примењен је „зонирање-рутирање“ приступ, који подразумева да се посматрана мрежа подели на одговарајуће зоне, а да се затим у оквиру сваке зоне траже потенцијалне руте. У складу са тим, разматрана саобраћајна мрежа је подељена у четири зоне, јер је било неопходно задовољити услов да практична обука највише може трајати 90 минута у континуитету. Почетна мрежа саобраћајних комуникација приказана је на слици 2, при чему вредности грана представљају времена потребна за савладавање гране, изражена у минутима, које су добијене на основу растојања између чворова у мрежи и брзина прописаних Правилником о безбедности војних учесника у саобраћају на путевима.



**Слика 2:** Почетна мрежа комуникација у околини Краљева

У складу са описаним алгоритмом, а на основу мреже комуникација приказане на слици 2, уочава се да су чворови непарног степена E, G, S и P. Наведени чворови се затим спајају фиктивним гранама и рачунају се њихове вредности:

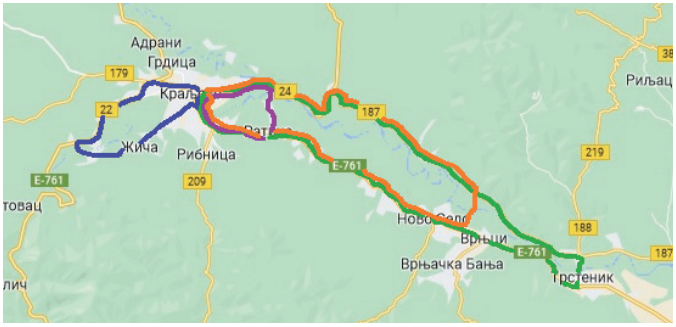
E - G и S - P = 48,5 минута,
E - S и G - P = 48,5 минута,
E - P и G - S = 46 минута.

С обзиром да је најкраће време путовања, ако се фиктивним гранама споје чворови E - P и G - S (46 минута), оне ће бити додате као паралелне гране постојећој мрежи. Имајући у виду да су, у датој мрежи, сада сви чворови парног степена, могуће је креирати Ојлерову туру.

У последњем кораку врши се креирање Ојлерове туре. С обзиром да је примењен „зонирање-рутирање“ приступ, креиране су Ојлерове туре у свакој од четири утврђене зоне:

- *Зона 1:* A-B-C-D-E-A=101,5 минута,
- *Зона 2:* A-E-F-G-S-A=108,5 минута,
- *Зона 3:* A-N-A= 26,5 минута,
- *Зона 4:* A-S-P-A=20,5 минута,
  A-S-G-H-M-P-A=64 минута,
  A-S-G-H-I-J-M-P-A=86,5 минута.

Руте креиране у Зони 1 и Зони 2 не могу бити разматране, јер прекорачују временски оквир од 90 минута, колико највише може трајати практична обука у континуитету. На слици 4. приказане су руте добијене применом методе кинеског поштара.



**Слика 4:** Нове руте добијене методом кинеског поштара

Рута из зоне 3 јесте рута Краљево-Матарушка Бања-Конарево-Краљево. Рута пролази кроз предео на којем доминира средњи интензитет саобраћаја, с тим да се у једном делу јавља и већи интензитет саобраћаја. На рути се јављају и семафоризоване раскрснице, као и кружни токови који представљају неки вид препреке за кандидате коју морају да савладају. Дужина руте износи 20 километара. При томе треба имати у виду да на делу руте постоји забрана кретања теретних возила, тако да се иста може користити само за обуку кандидата за Б категорију.

У зони 4 креиране су три руте. Рута A-S-P-A јесте рута Краљево-Ратина-Шумарице-Краљево. Рута задовољава све претходно наведене захтеве у смислу делова са средњим и већим интензитетом саобраћаја, постојањем семафоризованих раскрсница као и кружних токова. У складу са тим, наведена рута поред обуке, одговара и као рута за полагање практичног испита.

Руте A-S-G-H-M-P-A и A-S-G-H-I-J-M-P-A се у највећем делу поклапају. Представљају руту која полази из Краљева преко Шумарица, Витановца, Угљарева, Трстеника, Врњачке Бање, Новог Села, Ратине и назад до Краљева. Рута такође задовољава све потребне услове за адекватну обуку кандидата за возача.

Све руте добијене применом методе транспортних мрежа задовољавају услове за обуку кандидата за Б категорију, као и за индивидуалну обуку кандидата за Ц категорију.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Квалитетна обука за возача је изузетно важна за безбедност и ефикасност саобраћаја. Способност возача да правилно управља својим возилом и да препозна опасност на путу, као и да донесе правилну одлуку у таквој ситуацији, директно утиче на смањење броја саобраћајних незгода. Возач који је прошао адекватну обуку има развијене вештине као што су управљање возилом, кочење, скретање, паркирање и маневрисање у различитим ситуацијама. Ове вештине помажу возачу да се прилагоди променљивим ситуацијама на путу и да реагује на време, што може спречити настанак саобраћајне незгоде.

Изменама Правилника, у претходном периоду, тежило се осавремењавању обуке и усклађивању са нормативом којом је то питање регулисано на нивоу Републике Србије. Примењеном методом транспортних мрежа креиране су нове руте за обуку кандидата за возаче моторних возила у Војсци Србије, које у потпуности задовољавају услове прописане наведеним Правилником. Реализација обуке на новим рутама обезбедиће обуку кандидата на путевима са различитим интензитетом саобраћаја.

Важно је напоменути да се обука возача не завршава са положеним возачким испитом и добијањем возачке дозволе, већ је потребно ниво оспособљености стално усавршавати кроз праксу, односно кроз број пређених километара. Стална усавршавања и дообуке играју кључну улогу у одржавању високог нивоа стечених возачких вештина, што у крајњем доприноси побољшању безбедности одвијања саобраћаја.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Правилник о обуци и полагању возачког испита војних лица за возаче моторних возила, Службени војни лист, број 15/13, 13/14, 33/20 и 21/21, Београд.

[2] Раковић, Д. (2021). Измене Правилника о обуци и полагању возачког испита и њихов утицај на квалитет обуке возача. 7. стручни скуп „Безбедност војних учесника у саобраћају, Београд.

[3] Теодоровић. Д. (2016). Транспортне мреже. Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, Београд.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА ПРОЦЕНЕ РИЗИКА У ПРОЦЕСУ УПРАВЉАЊА ЉУДСКИМ РЕСУРСИМА У СИСТЕМУ ОДБРАНЕ

# APPLICATION OF RISK ASSESSMENT IN THE HUMAN RESOURCE MANAGEMENT PROCESS IN THE DEFENSE SYSTEM

МИЛАН КАНКАРАШ[1], ИВАН ПЕТРОВИЋ[2], НЕВЕН ЦВЕТИЋАНИН[3]

[1] Управа за стратегијско планирање, Београд, kankaras.milan@outlook.com
[2] Министарство одбране – Војна академија, Београд, ivanpetrovic1977@gmail.com
[3] Институт друштвених наука, Београд, nevencveticanin@gmail.com

---

***Резиме:*** *Општи циљ управљања људским ресурсима јесте остваривање организационе успешности помоћу људи. За остваривање тог циља потребни су запослени који поседују одређена знања, способности и вештине. Једна од најзначајнијих активности у области управљања људским ресурсима за одређивање потребних људских ресурса за остваривања организационе успешности, јесте планирање људских ресурса. Један од изазова са којим се суочава руководство организације јесте предвиђање тражње, односно броја запослених који ће бити потребан организацији. С обзиром да тај број зависи од броја запослених који напусте организацију (флуктуације кадрова), у раду је приказана могућност примене процене ризика у процесу планирања људских ресурса. Рад нуди практична решења за процену стопе флуктуације и могућности примене процене ризика у другим активностима у области управљања људским ресурсима. Такође, рад може бити користан за развој управљања људским ресурсима, за смањење нивоа субјективности у појединим активности, као и за смањење неизвесности у процесу одлучивања, како у систему одбране, тако и у другим организацијама.*

***Кључне речи:*** *планирање, процена ризика, флуктуација.*

***Abstract:*** *The aim of human resource management is to achieve organizational success through people. To achieve that goal, employees who possess certain knowledge, abilities and skills are needed. One of the most important activities in the field of human resource management for determining the necessary human resources for achieving organizational success is human resource planning. One of the challenges faced by the management of the organization is forecasting the demand, that is, the number of employees that the organization will need. Since that number depends on the number of employees who leave the organization (staff turnover), the paper shows the possibility of applying risk assessment in the human resources planning process. The work offers practical solutions for evaluating the turnover rate and the possibility of applying risk assessment in other activities in the field of human resource management. Also, the work can be useful for the development of human resources management, for reducing the level of subjectivity in certain activities, as well as for reducing uncertainty in the decision-making process, both in the defense system and in other organizations.*

***Keywords:*** *planning, risk assessment, fluctuation.*

---

## 1. УВОД

Савремене организације функционишу и остварују своју делатност у условима сталних и тешко предвидивих промена окружења. Те промене директно утичу на организациону успешност која у знатној мери зависи од запослених, односно од људских ресурса којима располаже. За остваривање организационе успешности потребно је обезбедити да запослени поседују одговарајућа знања, способности и вештине. Реализовањем активности у области управљања људским ресурсима обезбеђују се потребни запослени и тиме у значајној мери доприноси остваривању организационе успешности.

Основни задатак управљања људским ресурсима јесте да обезбеди организацији запослене који поседују потребна знања, способности и вештине. С обзиром на трендове политичког, економског, безбедносног, демографског и других чинилаца окружења, реализација тог задатка није једноставна. Стручњаци за управљање људским ресурсима суочавају се са бројним изазовима и неизвесностима и потребом процене и предвиђања кретања трендова. С тим у вези, постоје бројне методе за процену и предвиђање. Међутим, ни једна од тих метода не омогућава потпуно „осветљавање будућности”.

Процена ризика, као један од могућих приступа процени будућих може у знатној мери да смањи неизвесност и да омогући организацији да предузме одговарајуће мере ради избегавања или смањења последица. Циљ овог рада јесте провера и приказ могућности примене процене ризика у процесу управљања људским ресурсима на примеру процене флуктуације кадра у процесу планирања људских ресурса.

У раду су приказани ризици у процесу управљања људским ресурсима, описан је процес планирања људских ресурса, описан је процес процене ризика и приказана могућност примене те процене на примеру једне имагинарне организације.

## 2. РИЗИЦИ У ПРОЦЕСУ УПРАВЉАЊА ЉУДСКИМ РЕСУРСИМА

Управљање људским ресурсима обједињује бројне активности, а њихов број варира у зависности од аутора (3-11 активности). Међутим, у последње време најчешће се разматра 11 активности: анализа посла; планирање људских ресурса; регрутовање људских ресурса; селекција људских ресурса; социјализација и оријентација запослених; планирање и развој каријере; тренинг и образовање запослених; оцењивање радне успешности запослених; награђивање и мотивисање запослених; здравље и безбедност запослених и деградација и отпуштање запослених [11, 13, 14].

У процесу управљања људским ресурсима не постоји стриктан редослед наведених активности. Поједине активности нужно претходне, односно следе једна другој. Међутим, одређене активности одвијају се једновремено, а њихови исходи се допуњују. Условно речено, процес управљања људским ресурсима започиње анализом посла ради прикупљања и евалуације свих релевантних информација које се односе на посао [9]. Следећа активност јесте предвиђање потребе за људским ресурсима, односно планирање људских ресурса [9, 11, 13, 14]. Потребни људски ресурси обезбеђују се регрутовањем и селекцијом, након чега је новопримљене запослене потребно упознати са организацијом и њеним запосленим, правилима рада и понашања који су успостављени, задацима и обавезама конкретног радног места, организационим циљевима, како и која права могу да остваре и слично.

Услед развоја савремене технологија свакодневно се мењају услови и начин обављања одређених делатности и послова, што захтева континуиран развој запослених организовањем и реализовањем тренинга и образовањем запослених. Праћење и оцењивање радне успешности запослених значајно је ради одговарајућег награђивања и мотивисања запослених, планирања њиховог развоја, али и евентуалне деградације запослених који не остварују захтеване резултате. Здравље и безбедност запослених је уско повезано са анализом посла, праћењем запослених, али и са осталим активностима у области управљања људским ресурсима.

Бројне и сложене активности у области управљања људским ресурсима указују на значај те области. Међутим, тај значај у савременим организацијама посебно је наглашен општим циљем управљања људским ресурсима, остваривање организационе успешности уз помоћ људи и њихових потенцијала [15]. Такође, значај управљања људским ресурсима наглашава и схватање људских ресурса, односно запослених као највреднијег ресурса организације, а у процес управљања људским ресурсима укључује се највише руководство [16].

Поред познавања процеса управљања људским ресурсима, основна претпоставка препознавања ризика у том процесу јесте схватање и разумевање значења појма *ризик*.У литературине постоји јединствена и опште прихваћена дефиниција тог појма. Поједини аутори под ризиком подразумевају меру вероватноће и нежељених последица одређеног догађаја [4, 7, 8] или неизвестан исход одређене ситуције у којој је угрожено нешто вредно [6]. Под „вредним” се мисли на људске животе, имовину, пословни резултат и слично. Такође, под ризиком се подразумева несигурност и озбиљност догађаја и последица у односу на нешто што је људима вредно [1], као и могућност да наступи одређени непредвиђен догађај изазван субјективним околностима [12]. Поједини аутори праве разлику између ризичне и неизвесне ситуације и сматрају да су у ризичним ситуацијама познате последице вероватноћа њиховог појављивања, док је то у неизвесним ситуацијама непознато [2]. У наведеним дефиницијама уочавају се два заједничка елемента – неизвесностан или неодређен исход и постојање последице коју генерише догађај, односно исход. С тим у вези, а за потребе препознавања ризика у процесу управљања људским ресурсима, потпуно је прихватљива дефиниција – мера вероватноће и нежељених последица [4,7].

С обзиром на то да је процес управљања људским ресурсима сложен и континуиран процес у коме има више заинтересованих страна и учесника, постоје бројни ризици. С тим у вези, а имајући у виду обим рада, тежиште је усмерено на планирање људских ресурса, као једну од активности у области управљања људским ресурсима. Планирање људских ресурса представља процес којим се, на основу очекиваних промена у интерном и екстерном окружењу, предвиђају потребе за људским ресурсима [13]. Процес планирања људских ресурса одвија се кроз шест фаза [15]:

- анализа екстерних фактора;
- анализа интерних фактора;
- предвиђање понуде и тражње људских ресурса;
- усклађивање понуде и тражње људских ресурса;
- реализација плана људских ресурса и праћење, евалуација;
- кориговање плана људских ресурса.

У процесу планирања људских ресурса присутне су бројне неизвесности, а посебно у фази предвиђања понуде и тражње људских ресурса. Планери у тој фази покушавају да предвиде миграције радне снаге, структуру радне снаге, прилив квалификоване радне снаге, економска кретања, технолошки развој, промене законских и других прописа, активности конкуренције и слично (предвиђање понуде), као и број запослених по професијама (занимањима) који ће бити потребан организацији у планском периоду ради достизања организационих циљева (предвиђање тражње). Свака од наведених ставки може представљати ризик, односно предвиђени развој догађаја може да крене погрешним током. На пример, уколико се предвиди да ће, уз одређени ниво миграција радне снаге, понуда људских ресурса на тржишту рада задовољити тражњу организације за људским ресурсима, постоји одређена вероватноћа да се то не догоди у мањој или већој мери. На тај начин могуће је препознати већину ризика у процесу планирања људских ресурса.

Ризици у процесу управљања људских ресурса представљају унију препознатих ризика у свим активностима у области управљања људским ресурсима. Међутим, немају сви ризици једнак утицај на резултат процеса управљања људским ресурсима и на достизање организационих циљева. За сваки појединачни ризик утврђују се последице и вероватноћа, односно процењују се ризици.

## 3. ПРОЦЕНА РИЗИКА У ПРОЦЕСУ ПЛАНИРАЊА ЉУДСКИХ РЕСУРСА

Идентификовањем ризика, односно утврђивањем догађаја који могу да се одвијају погрешним током започиње процена ризика, која обухвата четири основна корака: идентификовање опасности, процену последица, процену вероватноће и опис ризика [7]. Процес процене ризика започиње идентификовањем опасности и могућа су два исхода – постоји или не постоји опасност. Уколико се утврди да опасност не постоји процена може да се заврши кратким описом ризика (практично, корак 2 и 3 се прескачу). Међутим, уколико се утврди постојање опасности (што је највероватније), процењују се последице које та опасност може да проузрокује. И у овом кораку могућа су два исхода – постоје или не постоје последице. Такође, уколико постоје последице, оне могу бити прихватљиве или неприхватљиве за организацију. У трећем кораку процењује се вероватноћа остваривања идентификованих опасности и у последњем кораку описују идентификоване опасности, последице, вероватноћа остваривања и могуће мере које је потребно предузети ради смањења вероватноће и последица.

Планирање људских ресурса обухвата шест фаза и у свакој од тих фаза руководство организације и служба за људске ресурсе суочавају се са потенцијалним претњама (опасностима). У том процесу, између осталог предвиђа се тражња, односно број запослених по структури који ће бити потребан организацији. Тај број зависи од броја запослених који напусте организацију и кадровских померања у организацији, односно флуктуације запослених.

Флуктуација означава одлазак запослених из организације [5]. Директна последица одласка запослених јесте поремећај у обављању делатности организације. Тај поремећај може се манифестовати престанком обављања делатности (потпун или делимичан, односно дугорочан или краткорочан) или смањењем квалитета обављања делатности. Последица поремећаја у обављању делатности мери се трошковима. Међутим, поред поремећаја у обављању делатности, последица флуктуације јесте и промена запослених, што захтева реализовање социјализације и оријентације нових запослених, као и њихову обуку ради достизања потребне радне способности. Наведене активности такође генеришу одређене трошкове.

Процена ризика у процесу планирања људских ресурса спроведена је на примеру флуктуације у имагинарној организацији „Алфа”, у периоду од 10 година. У том периоду просечни број запослених кретао се од 1.000 до 1.020 у току једне пословне године, а флуктуација од 2,08% до 3,4% на годишњем нивоу (Табела 1). У табели 1 прикази су и годишњи трошкови које је генерисало напуштање организације.

**Табела 1:**Подаци о кретању запослених у организацији „Алфа”

| **Назив** | **Година 1** | **Година 2** | **Година 3** | **Година 4** | **Година 5** | **Година 6** | **Година 7** | **Година 8** | **Година 9** | **Година 10** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Просечан број запослених | 1.000 | 1.010 | 1.020 | 1.015 | 1.010 | 1.000 | 1.010 | 1.020 | 1.015 | 1.010 |
| Број запослених који су напустили организацију | 23 | 26 | 25 | 28 | 28 | 34 | 21 | 26 | 29 | 33 |
| Трошкови напуштања организације (€) | 4.600 | 5.200 | 5.000 | 5.600 | 5.600 | 6.800 | 4.200 | 5.200 | 5.800 | 6.600 |
| Флуктуација | 2,3% | 2,6% | 2,5% | 2,8% | 2,8% | 3,4% | 2,1% | 2,6% | 2,9% | 3,3% |

Као што се види у табели 1, флуктуација кадрова била је два пута изнад 3%, што се може очекивати и у наредном периоду. Треба имати у виду да је ниво флуктуације непознат, а с обзиром да се у процесу планирања људских ресурса узима у обзир и флуктуација, основни проблем или опасност која се може идентификовати јесте да флуктуација буде већа од планиране.

Други корак у процени ризика јесте процена последице уколико се идентификована опасност оствари. У овом примеру последица се односи на повећање трошкова, што је неприхватљиво за организацију, односно трошкови су превисоки за организацију и могу угрозити организациону успешност. Процена висине трошкова и вероватноћа да флуктуација буде већа од планиране реализује се у трећем кораку.

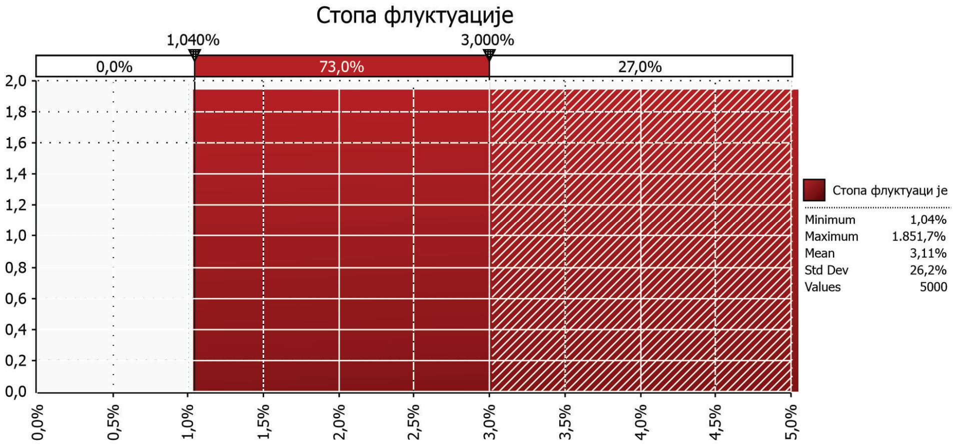
За процену вероватноће развијен је софтвер @RISK. Софтвер користи симулацију, као технику за комбиновање свих неизвесности које генерише идентификовани проблем, а функције расподеле вероватноће омогућавају спецификацију готово свих типова неизвесности у израђеном моделу.

Модел проблема повећања флуктуације састоји се из два сегмента: флуктуације кадрова у периоду од десет година (зависна варијабла)и дистрибуције података независних варијабли. Флуктуација кадрова (F) на годишњем нивоу представља однос броја запослених који су напустили организацију (BN) у посматраној години и просечног броја запослених за посматрану годину (BZ), а према изразу 1:

$$F = \frac{BN}{BZ} \qquad (1)$$

Независне варијабле у овом моделу јесу број запослених који је напустио организацију и просечан број запослених. Дистрибуција података независних варијабли је униформна, а симулацијом су обухваћени сви могући исходи независних варијабли у складу са утврђеном дистрибуцијом.

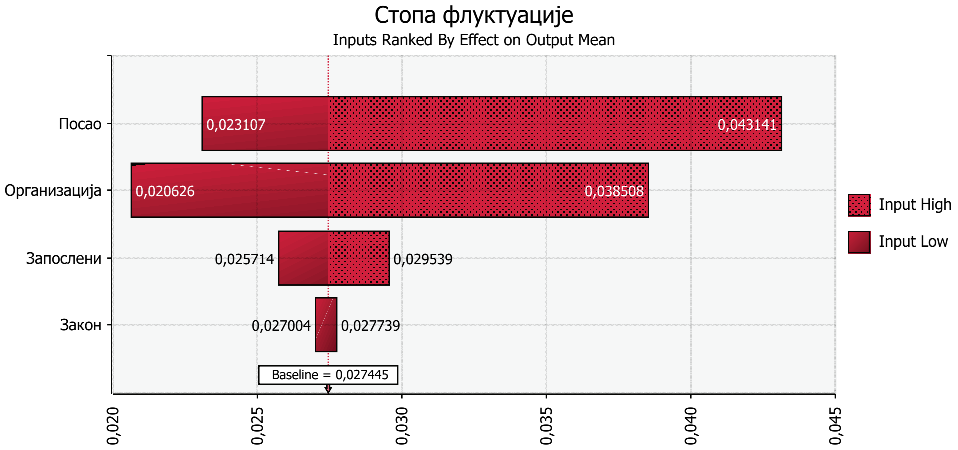
На основу утврђеног модела проблема повећања флуктуације спроведена је симулација са 5.000 итерација и утврђено да се са вероватноћом од 27% може очекивати стопа флуктуације већа од 3% (Слика 1).



**Слика 1**: Вероватноћа кретања стопе флуктуације

Постоји више различитих узрока који утичу да запослени напусте организацију. Узроци напуштања груписани су на узроке који се односе на саму организацију, на посао и на запослене [3]. Уколико организација често мења структуру, број запослених, начин пословања и слично, стопа флуктуације се повећава. Друга група узрока односи се на посао, односно на немогућност усклађивања сврхе посла и мисије и визије пословања. Последња група узрока односи се на запослене, односно њихове личне разлоге, жеље, амбиције и слично.

Међутим, поред наведених група узрока, запослени одлазе и по сили закона. Ова група првенствено обухвата запослене који одлазе у старосну пензију, али и запослене који напуштају организацију због професионалних обољења, дисциплинских мера, истека уговора и слично. С тим увези, за процес планирања људских ресурса значајно је декомпоновати укупну стопу флуктуације на посебне стопе које се односе на узроке те флуктуације. На истом примеру, применом софтвера @RISK, утврђени су узроци који доминирају у укупној флуктуацији кадрова (Слика 2).



**Слика 2**: Узроци флуктуације кадрова

Као што се види на слици 2, доминантни узроци флуктуације односе се на посао и на саму организацију. Узроци се могу даље декомпоновати и утврдити конкретни, појединачни узроци. Добро познавање узрока напуштања организације од стране запослених, омогућава руководству да предузме мере које ће смањити те узроке, а самим тим и смањити стопу флуктуације и последице по организацију. Међутим, због ограниченог обима, то није предмет овог рада. Опис ризика, као последњи корак, садржи управо те разлоге и предлоге за смањење стопе флуктуације.

## 4. ЗАКЉУЧАК

У приступу проблему истраживања узете су у обзир специфичности система одбране, као и савремених организација, посебно у области управљања људским ресурсима и процени ризика. Истраживање је реализовано на примеру једне имагинарне организације која се суочава са сличним изазовима и претњама из окружења.

Основни циљ овог истраживања био је провера и приказ могућности примене процене ризика у процесу управљања људским ресурсима на примеру процене флуктуације кадра у процесу планирања људских ресурса. На основу резултата истраживања може се закључити да примена процене ризика омогућава:

- идентификовање већине претњи из окружења;
- идентификовање последица и процену прихватљивости тих последица;
- смањење неизвесности проценом вероватноће остваривања потенцијалне претње;
- уочавање мера које је потребно предузети ради смањења вероватноће остваривања претње и/или смањења последица те претње.

Поред наведених ефеката примене процене ризика у процесу управљања људским ресурсима, потребно је да стручњаци у области људских ресурса, а посебно руководиоци схвате да резултати процене ризика представљају помоћни алат у процесу доношења одлука, а не коначно решење. С тим у вези, руководиоци не требали да дођу у заблуду да било која метода за процену и предвиђање пружа решење, већ да буду свесни да им те методе помажу да размишљају о више различитих проблема и да их оне усмеравају (смањује се вероватноћа доношења погрешних одлука)..

Значај истраживања се огледа у практичној примени процене ризика у процесу управљања људским ресурсима, као и о могућности примене у процесу доношења одлука, решавању практичних проблема и аналитичком размишљању.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Aven, T., & Renn, O. (2009). On risk defined as an event where the outcome is uncertain. *Journal of Risk Research, 12*, 1-11.

[2] Diacon, S., & Carter, R. (1995). *Succes in Insurance.* London: John Murray.

[3] Harris, J., & Brannick, J. (1999). *Keeping Great Employees.* New York: AMACOM.

[4] Lawrence, W. (1976). *Of Acceptable Risk.* Los Altos: William Kaufman Inc.

[5] Mowday, R. T., Porter, R. W., & Steers, R. M. (1982). *Employee-Organization Linkages. The Psychology of Commitment, Absenteeism, and Turnover.* Cambridge, Massachusetts: Academic Press,Inc.

[6] Rosa, E. (1998). Mta theoretical foundations for post-normal risk. *Journal of RiskResearch, 1*, 15-44.

[7] Yoe, C. (2019). *Primer on Risk Analysis: Decision Making Under Uncertainty.* Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Group.

[8] Vlada Mitic, Milan Kankaras, Dejan Nikolic, Srdjan Dimic, Mitar Kovac, *Rationalization of the scenario development process under conditions involving extensive dynamics*, Futures 125 (2021) 102642, 2021, стр. 1-19, https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102642

[9] Богићевић-Миликић, Б. (2006). *Менаџмент људских ресурса, треће издање.* Београд: Центар за издавачку делатност Економског факултета.

[10] Јовановић, Б. (1984.). *Увод у теорију војног руковођења.* Београд: Војно-издавачки завод.

[11] Kankaraš M, *Planiranje ljudskih resursa zasnovano na sposobnostima*, Vojno delo 2012 – proleće (spring); 272-287, UDK: 005.96:355.1(497.11), ISSN 0042-8426

[12] Класић, К., & Андријанић, И. (2013). *Основе осигурања - начела и пракса.* Загреб: ТЕБ.

[13] Кулић, Ж. (2005). *Управљање људским потенцијалима.* Београд: Радничка штампа.

[14] Лојић, Р. (2011). *Управљање људским ресурсима у систему одбране.* Београд: Медија центар "Одбрана".

[15] Лојић, Р., & Кулић, Ж. (2009). *Управљање људским ресурсима.* Београд: Војно-издавачки завод.

[16] Ћамиловић, С., & Вујић, В. (2007). *Основе менаџмента људских ресурса.* Београд: Текон.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРОШИРЕЊЕ МРЕЖЕ ПЛОВНИХ ПУТЕВА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ У ФУНКЦИЈИ ОДБРАНЕ ЗЕМЉЕ

# EXPANSION OF THE WATERWAY NETWORK IN THE REPUBLIC OF SERBIA FOR DEFENCE OF THE COUNTRY

МИЛАН КРЕСОЈЕВИЋ[1], ВЕСНА РИСТИЋ ВАКАЊАЦ[2], ДРАГАН ТРИФКОВИЋ[3]

[1] Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Београд, milan.kresojevic@va.mod.gov.rs
[2] Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Београд, vesna.ristic@rgf.bg.ac.rs
[3] Универзитет одбране у Београду, Војна академија, Београд, dragan.trifkovic@va.mod.gov.rs

---

***Резиме:*** *Мрежу пловних путева Републике Србије чини мрежа међународних и међудржавних пловних путева. Међународне пловне путеве чине реке Дунав, Сава, Колубара, Дрина, Канал Дунав-Тиса-Дунав (Д-Т-Д) „Нови Сад – Савино село“ и Беочински рукавац – канал, док међудржавни пловни пут на коме важи међународни режим пловидбе чини река Тиса. Поред наведених пловних путева који већим делом обухватају територију Аутономне покрајине Војводине, Република Србија има потенцијал проширења мреже пловних путева и у централном делу Србије пре свега у Поморављу. Проширењем мреже пловних путева и санацијом постојећих побољшали би се услови за економски развој земље јер би велики део транспорта робе могао да се обавља бродовима унутрашње пловидбе. Овај вид транспорта робе представља најекономичнији и еколошки најприхватљивији вид транспорта. Поред економског развоја, проширењем мреже пловних путева повећала би се и одбрамбена способност земље како од војних претњи тако и у случају елементарних непогода. Укључивање и других река, а пре свега Велике Мораве, у мрежу пловних путева омогућило би пловидбу и бродовима Речне флотиле Војске Србије чиме би се повећао оперативни обухват речних јединица наше војске.*

***Кључне речи:*** *унутрашњи пловни пут, Велика Морава, одбрана земље, бродови Речне флотиле флотила.*

***Abstract:*** *The waterway network in the Republic of Serbia consists of an international and interstate waterway network. The Danube, Sava, Kolubara, Drina, the Danube-Tisza-Danube Canal (D-T-D) "Novi Sad - Savino selo" and the Beočin bayou – canal are defined as the international waterways, while the Tisza River is defined as the interstate waterway, where the international regime of navigation is applied. In addition to the mentioned waterways, which mostly cover the territory of the Autonomous Province of Vojvodina, the Republic of Serbia has the potential to expand the waterway network in the central part of Serbia, especially in Pomoravlje. By expanding the waterway network and rehabilitating the existing ones, the conditions for the economic development of the country would be improved, as a large part of the transport of goods could be carried out by inland waterway vessels. This type of goods transport is the most economical and environmentally friendly type of transport. In addition to economic development, expanding the waterway network would also increase the defence capability of the country both against military threats and in case of natural disasters. The inclusion of other rivers, and above all the Velika Morava, in the waterway network, would enable the ships of the River Flotilla of the Serbian Armed Forces to sail, which would increase the operational scope of the river units of our army.*

***Keywords:*** *inland waterway, Velika Morava, defence of the country, ships of the River Flotilla.*

---

## 1. УВОД

Мрежу пловних путева Републике Србије чини укупно 1.583 km пловних путева, и то: Дунав 588 km, канал Дунав-Тиса-Дунав (Д-Т-Д) 600 km, Тиса 164 km, Сава 210 km, Дрина 15 km, Колубара 5 km и Беочински рукавац 1 km. Поред наведених и класификованих пловних путева Уредбом међународних и међудржавних путева [4], током 2014. године непосредном контролном пловидбом бродом Речне флотиле (РФ) утврђено је да је Велика Морава за бродове РФ пловна свега 15 km узводно од ушћа у реку Дунав. По густини пловне мреже у Европи Србија се налази на петом месту. Узимајући у обзир да је превоз унутрашњим пловним путевима један од најекономичнијих и еколошки најприхватљивијих врста превоза што је истакнуто и у извештају Европске комисије о ефикасном и еколошки одрживом саобраћају [5], Република Србија са својим богатим хидропотенцијалом има могућност да овај вид транспорта унапреди и прошири на већем делу своје територије. Анализирајући напред наведене чињенице оправдано је разматрање санације постојећих пловних путева и проширење мреже пловних путева на друге реке, а пре свега Велику Мораву која је у 19. веку била пловна готово целом својом дужином од ушћа у Дунав до Сталаћа. Земље које имају разгранату мрежу унутрашњих пловних путева који повезују велика саобраћајна чворишта и велике индустријске центре растерећују друмски и железнички саобраћај и стварају повољне услове за привредну активност. Саобраћајни коридори укључујући и мрежу унутрашњих пловних путева имају велики значај и за ефикасну одбрану земље. Речна флотила Војске Србије користи пловне путеве за извршавање својих задатака. То је специфична војна јединица која интегрише речне и инжињеријске јединице ради извршења додељених мисија и задатака. Своје задатке извршава у садејству са другим јединицама војске или самостално углавном на води и у приобаљу што и јесте њена специфичност. Поред војних задатака РФ извршава и невојне задатке који се односе и на помоћ угроженом становништву у случају природних катастрофа. Тако је на пример, од изузетно важног значаја ангажовање људства и технике РФ на подручјима погођеним поплавама. Задатак јединица РФ је организовано лоцирање и спасавање људи, животиња и имовине из угроженог подручја. Речна флотила има капацитете за евакуцију, достављање потребне помоћи, изолацију угрожене зоне, изградњу насипа, обезбеђењу важних хидронавигацијских објеката и обнављање инфраструктуре. Значајан допринос РФ је дала у евакуацији становништва са територије општине Обреновац која је 2014. године погођена поплавама изазваним изливањем реке Колубаре.

## 2. КОНТРОЛА И УРЕЂЕЊЕ ПЛОВНОГ ПУТА ЗА ПОТРЕБЕ РЕЧНЕ ФЛОТИЛЕ

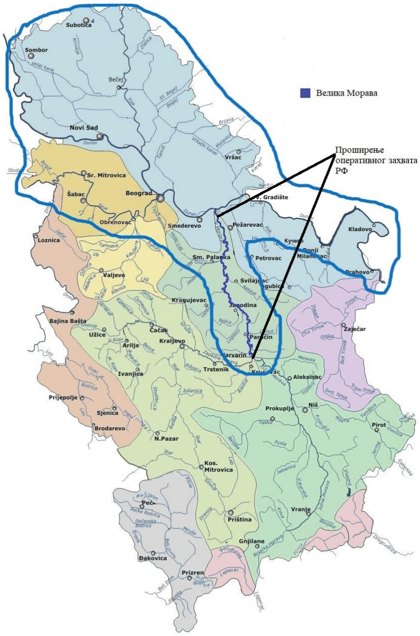
„Речна флотила је тактичка јединица Копнене војске намењена за извођење борбених и неборбених активности, покрета и других акција на и у захвату река, пловних канала и језера, самостално и у садејству са другим снагама одбране Републике Србије“ [7]. Како би у потпуности била оперативна на комплетној мрежи пловних путева Речна флотила је са вишенаменским бродовима у свом саставу у периоду од 2010. до 2021. године извршила проверу стања свих постојећих пловних путева Републике Србије. Акценат је био на контроли канала Хс Д-Т-Д, с обзиром да је пловни пут рекама Дунав, Тиса и Сава у већој мери познат. У извршавању својих задатака РФ може да се ослони на брод посебне намене „Козару“ - командни брод, вишенаменске, патролне и помоћне бродове и средства као и на ронилачку опрему. Проверу пловности РФ је извршила за своје вишенаменске, патролне и помоћне бродове. Према томе, приликом дефинисања техничких захтева за пловне путева са аспекта могућности пловидбе већине бродова РФ треба узети у обзир основне геометријске величине брода, као што су: дужина преко свега, ширина, висина и газ. Другим речима, уређен пловни пут при различитим водостајима мора обезбедити сигурну пловидбу бродова максималне:

- дужине до 30 m,
- ширине до 7 m,
- висине до 3 m, и
- газа до 1,5 m.

Контролна истраживања су обухватала основна хидролошка испитивања као и визуелна осматрања стања хидротехничких грађевина на каналима, углавном прво са копна. Контролно истраживања су обухватала мерење висине слободног пролаза испод мостова и дубине воде у каналима (стање водостаја). Подаци који су уредно евидентирани могу се користити и у комерцијалне сврхе, што је посебно значајно с обзиром да не постоје детаљна упутства за пловидбу Хс Д-Т-Д[1]. Закључак контролних пловидби је да хидротехнички и хидролошки услови на каналима Хс Дунав-Тиса-Дунав омогућавају сигурну и безбедну пловидбу за бродове Речне флотиле на свим каналима на којима је извршена провера.

Проширење мреже пловних путева увођењем Велике Мораве у мрежу пловних путева, пре свега регулисањем дубине реке, односно стварање пловног пута проходног за бродове РФ повећало би и могућности извршавања задатака као и оперативни захват РФ.

Ако би се, за почетак, мрежа пловних путева проширила само за потребе бродова Речне флотиле онда би у том случају били потребни регулациони радови у мањем обиму којима би се обезбедила минимална дубина пловног пута при ниским водама за наведени захтевани максимални газ. Такође, поред регулисања самог пловног пута за пуну оперативну употребу било би потребно изградити и пратећу инфраструктуру неопходну за РФ као што је лука за базирање и одржавање пловила.



**Слика 1.** Проширење пловног пута и оперативног захвата јединица Речне флотиле

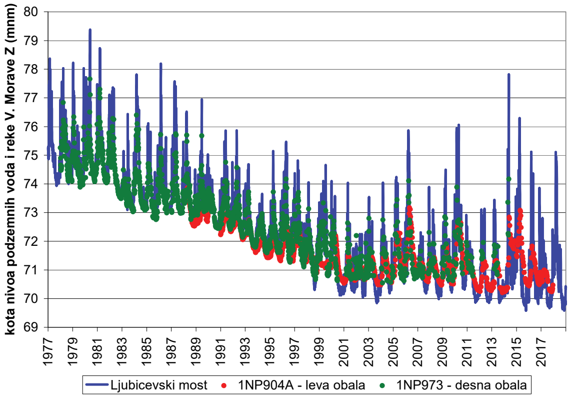
Као што се може видети на слици 1. јединице РФ би својим бродовима могле да доплове до Сталаћа, односно до централног дела Републике где би својим способностима могла да повећају одбрамбену способност земље, како од војних тако и од невојних претњи. На овај начин би РФ оперативно покривала више од трећине територије наше земље.

---

[1] Детаљније информације о контролном испитивању пловидбе бродова Речне флотиле каналима ХС Д-Т-Д могу се добити од 1. Речног одреда Речне флотиле у Новом Саду путем електронске поште: r.f@vs.rs

## 3. ВЕЛИКА МОРАВА

Велика Морава је највећа домаћа река чији просторни слив заузима централно место у Србији и простире се до најзападнијих, јужних и источних граница Србије. Површина слива Србије износи 36.638 $km^2$, што чини 42% Републике Србије. Велика Морава настаје спајањем Јужне и Западне Мораве, у близини места Сталаћ, укупна дужина јој је 245 km и улива се у реку Дунав код Смедерева. Низводно од Сталаћа река протиче и повезује градове: Варварин, Параћин, Ћуприју, Јагодину, Лапово, Свилајнац, Пожаревац, Велику Плану и Смедерево. Велика Морава није пловна због габарита пловног пута, пре свега дубине која је промењена у односу на 19. век због интензивне ерозије дуж њених саставних река и главних притока, пре свега Јужне Мораве, што се може потврдити анализом речних профила на којима се врше мерења[2]. Управо због велике количине наталоженог ерозивног материјала Велика Морава има велике резерве шљунка и песка које је погодно за коришћење пре свега у грађевинској индустрији. Из овог разлога дуж обала као и из самог корита Велике Мораве одувек се вршила и вршиће се експлоатација ове сировине. Међутим, током 90-тих година прошлог века дошло је изузетно интезивне неконтролисане експлоатације песка и шљунка у делу код водомерне станице Љубичевски мост [2], што је као крајњи резултат довело до продубљивања корита реке Мораве у овом делу за читавих 4 метара (слика 2). Из разлога што је у овом делу добра хидрауличка веза вода реке Мораве и подземних вода формираних у њеним алувијалним наносима као прва издан, ово снижење је утицало и на снижење подземних вода (слика 2). Проблеми који су се јавили ишли су у два правца: квалитет подземних вода као и квантитет овог ресурса. Обарањем нивоа подземних вода довело је до смањења резерви подземних вода. Тако на пример, Марковић и др. [6] дали су процену изгубљене количине подземних вода која је настала снижавањем подземних вода. Сматрају да је за снижење од око 1.5 м нивоа подземних вода трајно изгубљено око 150 x $10^6$ $m^3$ квалитетне воде што представља око 16.5% укупних срачунатих резерви које се налазе у овој издани. Имајући у виду да је снижење нивоа подземних вода у овом делу било око 4 m, можемо само претпоставити о којим количинама је реч. Последица смањених резерви је довело до промене квалитета подземних вода. Нитрати чије су концентрације у подземним водама пре 1990. године биле испод максималне дозвољене концентрације (МДК), снижењем нивоа подземних вода њихова концентрација је знатно увећана тако да су поједина изворишта морала да буду искључена из система јавног водоснабедвања (нпр. извориште Кључ) [8].

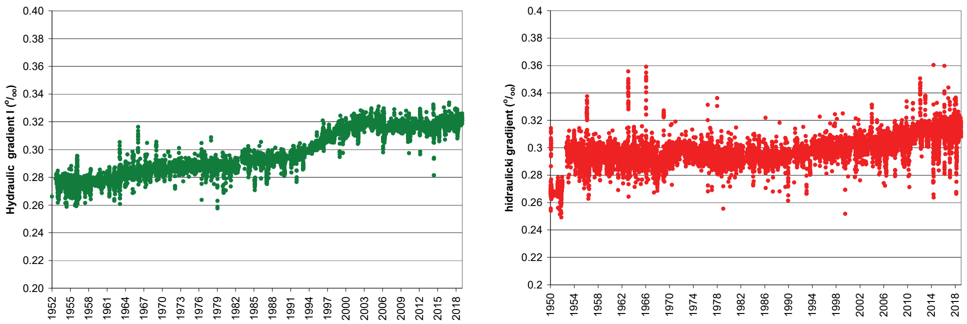


**Слика 2:** Нивограм реке Велике Мораве, в.с. Љубичевски мост и нивограм подземних вода

---

[2] Детаљне информације на сајту РХМЗ – Мрежа станица површинских вода - Слив реке Велика Морава, линк: https://www.hidmet.gov.rs/ciril/hidrologija/povrsinske/sliv_velikamorava.php

Продубљивање корита ове реке неконтролисаном експлоатацијом шљунка и песка утицало је и на промену градијената пада водног огледала Велике Мораве у њеном доњем делу слива. На слици 3 дат је дијаграм промена хидрауличких градијената водног огледала у времену и то на најугроженијем потезу: Љубичевски мост - Жабарски мост (слика 3а). Са слике 3а јасно се види постепени пораст градијента водног огледала Велике Мораве у делу између Жабарског и Љубичевског моста. Градијенти у периоду од 1952-1989 године имају тренд благог пораста са стагнацијама (период 1963-1982 и период од 2000-2018. године) као и период наглог пораста градијента (период 1990-1999). Можемо закључити да у овом делу градијент водног огледала Велике Мораве се кретао у периоду од 1952-1990 у интервалу од 0.26 ‰ до 0.29 ‰ (0.30‰) да би након 2000 године ова вредност кретала у интервалу од 0.30 - 0.33 ‰. Повећани градијетни утичу на израженију регресиона ерозија у појединим узводим деоницама Велике Мораве, што изазива даље продубљивање корита и на узводним деоницама. Ради упоређења на слици 3б дат је дијаграм промена хидрауличких градијената водног огледала у времену на потезу: Жабарски мост - Багрдан. И овде је приметан благи пораст градијента али тек након 1994. године. Овај пораст је резултат поменуте регресије која је довела до постепеног продубивања корита В. Мораве и у узводном делу, у конкретном случају у профилу Жабарски мост, док до Багрдана још увек није стигла тако да су се вредности хидрауличког градијента такође повећале у овом делу.



а.

б.

**Слика 4:** Дијаграм промене хидрауличког градијента у времену: а. потез Љубичевски мост - Жабарски мост -, б. Жабарски мост - Багрдан.

Девастирање речних обала и непостојање заштитних насипа представљају велику опасност за овај регион Србије у случају бујичних поплава. Као посебан пример можемо издвојити катастрофалне поплава које су најтеже погодиле Западну и Централну Србију током 2014. године, страдало је више од 30 људи док је евакуисано више од 10.000 становника са територије Обреновца [3]. Поред тога, причињена је и велика материјална штета на стамбеним и објектима инфраструктуре. Са становишта цивилне одбране и заштите, нарушавање приобалног региона изазвано неконтролисаним ископавањем шљунка и песка, умањило је могућности одбране насеља од елементарних непогода. Поред саме одбране од поплава, због копања, у приобаљу се формирају депресије које се по завршетку радова пуне водом и формирају баре или мала језера, чиме се отежава једноставан приступ подручју погођеном елементарном непогодом. Све ово омета и могућност правовременог реаговања и ангажовања снага за пружање помоћи угроженом становништву, што је један од основних предуслова за успешно извођење операције пружања помоћи цивилном становништву [1].

## 4. ЗАКЉУЧАК

Проширивањем пловних путева Република Србија би потенцијално могла да оствари велике економске бенефите пре свега повећавајући транспортни коридор најјефтинијег и еколошки најодрживијег вида транспорта у оквиру своје територије. Свакако оспособљавање, односно увођење Велике Мораве у систем пловних река на територији Републике Србије био би велики подухват. Поред тога немерљив значај био би и са аспекта одбране земље како од војног угрожавања, тако и у случају елементарних непогода. Проширењем мреже пловних путева омогућило би се јединицама РФ повећан захват оперативног деловања, док би евентуални продор непријатеља био отежан. Са становништва одбране земље густина мреже пловних путева и канала који пресецају равне и лако доступне терене отежавају оперативно напредовање непријатељских јединица.

Контролисано уређење Велике Мораве би умногоме смањило опасност од настанка поплава које су у овом делу Србије честе. Међутим, уређење корита Велике Мораве за потребе пловности би ишло у правцу продубљивања корита у појединим његовим деловима. При овоме би требало водити рачуна да у деловима где постоји активна хидрауличка веза површинска вода - подземна вода, ова веза и остане. Такође, потребно је водити рачуна и о томе да потенцијално уређење корита не доведе до снижавања нивоа површинских па самим тим и подземних вода јер у овом делу водоснабдевање становништва као и наводњавање пољопривредног земљишта у највећој мери зависи од овог ресурса.

Наведен пример неконтролисаног ископавања шљунка и песка током 90-тих година прошлог века који су се изводили на Великој Морави показали су све опасности које могу да изазову, од утицаја на водоснабдевање (поједина изворишта су морала да се искључе из система за водоснабдевање), до уништавања обала и поремећаја биодиверзитета што на још једном пример показује неопходност планског и контролисаног уређења реке. Велика Морава, као највећа национална река својим положајем и везом са осталим водотоковима, представља непроцењиво благо Републике Србије и заслужује посебну бригу.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Бајрами, Ш., Каровић, М., и Радић, Г. (2016). Употреба Речне флотиле у пружању помоћи цивилним властима у случају великих поплава. Војно дело, број 7.

[2] Vakanjac, V. R., Nikolić, J., Vakanjac, B., Polomčić, D., Ilić, M. Č., Bajić, D., & Kresojević, M. (2019). Surface water flows as impacted by sand and gravel mining: case study of the Velika Morava river, Serbia. In 7th International Symposium

[3] Влада Републике Србије (2014): Извештај о елементарној непогоди – поплаве које су погодиле Републику Србију и мере које су предузете у спашавању становништва и одбрани угрожених подручја од поплава, Београд

[4] Влада Републике Србије, *Уредба о одређивању међународних и међудржаних водних путева,* Службени гласник Републике Србије (109/2016 и 68/2019), Београд.

[5] European Commission, Directorate-General for Mobility and Transport, (2011). White paper on transport: roadmap to a single European transport area: towards a competitive and resource efficient transport system, Publications Office. https://data.europa.eu/doi/10.2832/30955

[6] Марковић, Д., и др., (2014). Тумач за Основну хидрогеолошку карту Републике Србије, лист Пожаревац, 1 : 100 000, Геолошки завод Србије, Београд

[7] Речна флотила, Војска Србије (2023). https://www.vs.rs/sr_lat/jedinice/vojska-srbije/kopnena-vojska/recna-flotila приступљено 30. маја 2023. године.

[8] Степановић, М., Бајић., Д., Поломчић, Д., Аврамовић, А., Мијатовић, Б., 2022. Квалитативне карактеристике поџемних вода изворишта „Кључ“ у Пожаревцу, ХВИ Српски хидрогеолошки симпозијум са међународним учешћем, пп 495-500, Београд.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА ТЕОРИЈЕ ИГАРА У КРИЗАМА СТРАТЕШКОГ НИВОА

# APPLICATION OF GAME THEORY IN CRISES AT THE STRATEGIC LEVEL

МИЛАН МИЉКОВИЋ[1], КАТАРИНА МИЉКОВИЋ [2]

[1] Школа националне одбране, Универзитета одбране, Београд, milanmiljkovic04011@gmail.com
[2] Центар за примењену математику и електронику ГШ ВС, Београд, ca.moivs@vs.rs

---

***Резиме:*** *У раду су представљени основни концепти теорије игара који се користе у војним кризним ситуацијама, као што је трка у наоружавању. Коначно, рад се завршава са поглављем о употреби теорије игара у стратешком одвраћању.*

***Кључне речи:*** *теорије игара, трка у наоружавању, стратешко одвраћање*

***Abstract:*** *The paper presents the basic concepts of game theory that are used in military crisis situations, such as the arms race. Finally, the paper concludes with a chapter on the use of game theory in strategic deterrence.*

***Keywords:*** *game theories, arms race, strategic deterrence*

---

## 1. УВОД

Тема рада је примена теорије игара у војним кризним ситуацијама стратешког нивоа, као што је трка у наоружавању и стратешко одвраћање.

Повезаност теорије игара са студијама безбедности и војним наукама није изненађујућа, имајући у виду да се основа теорије игара може лако назрети у историји међународних сукоба [4,8]. Основну концепта теорије игара чини сама *игра,* која се може сматрати било којом ситуацијом у којој исход зависи од избора два или више доносиоца одлука. Већина међудржавних сукоба се квалификују као веома озбиљне игре. У теорији игара, доносиоци одлука се зову *играчи* и они могу бити председници, војни команданти, саме државе или њихове војске[2].

## 2. ИГРЕ СТРАТЕШКОГ ОБЛИКА И НЕШОВА РАВНОТЕЖА

У игри стратешког облика (понекад се назива нормални или матрични облик) играчи бирају стратегије истовремено, пре самог почињања игре. Стратегија игре за сваког играча представља план деловања кроз цео ток игре. Табела 1 приказује типичну ситуацију трке у наоружању између државе А и државе Б. Иако је генерички назив за ову игра „затвореничка дилема“, овде се помиње као игра трке у наоружању.

У овом примеру, свака држава има две стратегије: да сарађује (Ц) не наоружавајући се, и одступи од сарадње (Д) наоружавањем. Ако се ниједна не наоружава, исход је компромис, чиме се војни баланс одржава. Ако се обе наоружавају, док се још одвија трка у наоружању, равнотежа се одржава, али сада уз знатне трошкове. Коначно, ако се једна држава наоружа, а друга не, држава која има оружје добија стратешку предност, а држава која је изабрала да се не наоружавати ставља себе у неповољан положај. Свака ћелија матрице садржи уређени пар бројева испод имена исхода, који представају исплату.

У овом примеру, исходи су рангирани од најбољих ( „4“) до најгорих ( „1“). Уређени пар (4,1) означава да је овај исход најбољи за државу А, а најгори за државу Б. Даље, исход (3,3) *прећутна контрола оружја* је следећи најбољи исход за оба играча. Основни принцип у теорији игара, који се базира на рационалном понашању учесника игре, је да „играч бира своје понашање тако да му *добитак, тј. исплата* у игри буде максимална, за њега, уз најнеповољније деловање противника“. Рационалност не подразумева да ће играчи добро проћи и доћи до жељених циљева, што се лако демонстрира идентификовањем решења у игри трка у наоружавању.

**Табела 1:** Игра трке у наоружавању (Затвореничка дилема)

| | | Држава Б | |
|---|---|---|---|
| | | Не наоружава (Ц) | Наоружава (Д) |
| Држава А | Не наоружава (Ц) | Прећутна контрола наоружања<br>(3,3) | Б добија војну предност<br>(1,4) |
| | Наоружава (Д) | А добија војну предност<br>(4,1) | Трка у наоружавању<br>(2,2)* |

Исход (x,y) = исплата за државу А, исплата за државу Б.
*= Нешова равнотежа

Прво треба приметити да свака држава у игри Трке у наоружавању има *стриктно доминантну стратегију*, односно стратегију која је увек најбоља без обзира на стратегију изабрану од стране другог играча. На пример, ако држава Б одлучи да не наоружа, држава А ће добити свој следећи најбољи исход (3) ако такође одлучи да не наоружа, али ће добити свој најбољи исход (4) ако одлучи да се наоружа. Слично, ако држава Б изабере да се наоружа, држава А ће добити свој најгори исход (1) ако одлучи да се не наоружа, али ће добити свој следећи гори исход (2) ако одлучи да се наоружа. Значи, без обзира на то коју стратегију држава Б бира, држава А треба да изабере (Д) наоружавање. Симетрично гледано, држава Б такође треба да изабере наоружавање. И када оба играча бирају своју безусловно најбољу стратегију, исход је трка у наоружању. Стратешки пар (Д,Д) повезан са исходом означеним као трка у наоружању је решење игре које се зове *Нешова равнотежа*. Ако је стратешки пар Нешова равнотежа, ни један од играча нема подстицај да пређе на неку другу стратегију, под условом да други играч такође не пређе на другу стратегију [3].

Напомињемо да не постоји други стратешки пар са овим својством. На пример, треба размотрити стратешки пар (Ц,Ц) повезан са исходом *прећутна контрола наоружања*. Овај резултат је други најбољи за оба играча. Без обзира на то, оба играча имају подстицај да једнострано пређу на другу стратегију како би постигли бољи исход. Држава Б, на пример, може постићи најбољи исход (4) једноставним преласком на стратегију (Д). Дакле, пар (Ц,Ц) није Нешова равнотежа. Исти важи за преостала два пара стратегија у овој игри, (Ц,Д) и (Д,Ц). Због тога само Нешова равнотежа може бити део решења игре. Треба приметити да сваки играч увек бира најбољу стратегију тако што бира (Д), што поставља веома важно питање за државе у међународним односима које се налазе у ситуацији сличној овој игри, у смислу да ли постоје опције избегавања трке у наоружавању у анархичном међународном систему. Наведена игра (Затвореника дилема) представља пример доприноса теорије игара студијама безбедности, јер помаже да објасни зашто се велике државе понекад упуштају у бесмислена и скупа такмичења у наоружању која их чине ништа сигурније него што би били да су одлучили да се не наоружавају. У игри постоји само један исход који је у складу са рационалним доношењем одлука свих играча, јединствена Нешова равнотежа (Д,Д).

Међутим, немају све игре тако јасно решење. Анализирајмо игру две државе на Табели 2 коју је првобитно анализирао Џон Харсањи 1977. године [1]. Две државе А и Б, имају две стратегије: или да сарађују (Ц) или одбија сарадњу (Д). Пошто сваки играч има две стратегије, постоје 2 x 2 = 4 могуће комбинације стратегија и четири могућа исхода. Од четири комбинације стратегија, две су Нешове равнотеже, као што је назначено звездицама (*). Стратешки пар (Д,Д) је у равнотежи, а исход било ког играча био би још гори преласком на другу стратегију. Конкретно, ако Држава А да пређе са своје (Д) стратегије на своју (Ц) стратегију, исплата државе А би ишла са „2“ - као најбоље - на „1“ - следеће најбоље. Ако би држава Б прешла на своју (Ц) стратегију, њена исплата би ишла од „2“ - њене следеће најбоље до „0“ - најгоре. Дакле, ниједан играч нема користи од једнострано промене на другу стратегију, тако да је (Д,Д) Нешова равнотежа. Из сличних разлога, стратешки пар (Ц,Ц) је такође Нешов еквилибријум, тако да ниједан играч нема користи од једностраног преласком на своју (Д) стратегију.

Постојање две или више Нешових равнотежа у игри стратешког облика може отежати идентификовање вероватног исхода игре или најбољу стратегију за играче, осим ако не постоје критеријуми који дозвољавају дискриминацију међу равнотежама и елиминисање неких стабилних парова стратегија из скупа решења. Наравно, постојање вишеструке Нешове равнотеже у стратешком облику игара не би била проблематична када би све равнотеже биле *еквивалентне* – тј. ако све постојеће равнотеже имају потпуно исте последице по играче – *и замењиве* – у смислу да је свака могућа комбинација равнотеже стратегије такође у равнотежи.

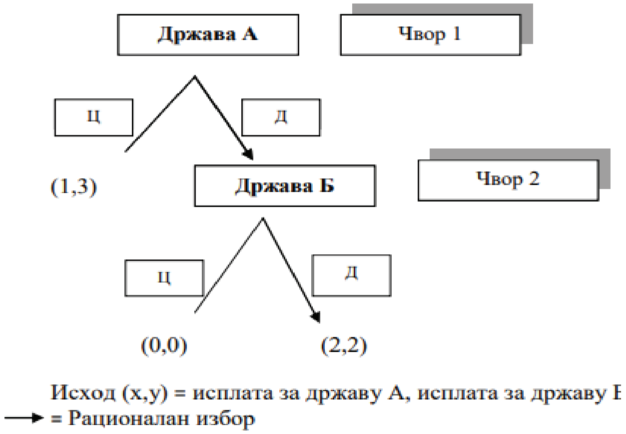
**Табела 2:** Стратешка форма игре са две Нешове равнотеже (Харсањијева игра)

| | | Држава Б | |
|---|---|---|---|
| | | Сарађује (Ц) | Несарађује (Д) |
| Држава А | Сарађује (Ц) | Резултат (Ц,Ц)<br>(1,3) * | Резултат (Ц,Д)<br>(1,3) |
| | Несарађује (Д) | Резултат (Д,Ц)<br>(0,0) | Резултат (Д,Д)<br>(2,2)* |

Исход (x,y) = исплата за државу А, исплата за државу Б.
*= Нешова равнотежа

Иако две Нешове равнотеже у игри на Табели 2 нису ни еквивалентне или замењиве, постоји један начин на који могу бити истакнуте. Приметите да стратегија несарадње (Д) државе Б *слабо доминира њеном стратегијом* сарадње (Ц), односно да даје држави Б исплату која је најмање једнако добра, а понекад и боља од друге стратегије, без обзира на све стратегије државе А. Дакле, постоји добар разлог за очекивати да ће држава Б изаберите (Д). Приметите такође да, ако држава Б несарађује, држава А има бољу исплату ако несарађује. Пошто је стратешки пар (Д,Д) повезан са доминантнијом стратегијом државе Б, може се тврдити да је она, а не стратешки пар (Ц,Ц). еквилибријум који се најбоље квалификује као решење Харсанијеве игре. Међутим, пре него што се овај закључак прихвати, постоји и чињеница да стратегијски пар (Д,Д) фаворизује државу А на рачун државе Б, јер је исплата државе Б очигледно боља под (Ц,Ц) него је под (Д,Д), док је обрнуто за државу А. С тим у вези поставља се питање да ли постоји нешто што држава Б може учинити да изазове пожељнију исплату равнотежа (Ц,Ц). Могло би се рећи да би држава Б могла боље проћи претњом да ће изабати (Ц) ако држава А изабере (Д), наводећи на тај начин државу А да изабере (Ц) и доводећи до најпожељнијег исхода државе Б. Имајући у виду да је ова линија аргумената мањкава, а да бисмо разумели зашто, истражиће се алтернативна варијанта Харсанијеве игре, екстензивне форме.

Слика 1 представља Харсањијеву игру у екстензивном облику. Насупрот стратешком облику игре, у *екстензивном облику* играчи праве потезе узастопно и бирају стратегије из колекције избора доступних у било ком тренутку. У екстензивном облику, потези су представљени чворовима на стаблу игре. Гране стабла на било ком чвору сумирају изборе доступне играчу у одређеном тренутку. Исплате играчима представља бројевни пар на сваком терминалном чвору. Харсањијева игра је пример *игре савршених информација*. У игри са несавршеним информацијама, играчи незнају увек који су претходни избори направљени.



**Слика 1: Екстезивна форма Харсањијеве игре**

За решавање игре екстензивне форме користи се поступак познат као *повратна индукција* која укључује кретање уназад на стаблу игре да би се прво утврдило шта би рационалан играч урадио на последњем чвору стабла, шта би радио играч са претходним потезом с обзиром да је играч са последњим потезом рационалан, и тако све до доласка и враћања на први чвор стабла [5]. Тачније, ми сада покушамо да утврдимо зашто држава Б не може рационално да прети да изабере (Ц) на 2. чвору, како би се подстакла сарадња државе А на 1. чвору, доводећи на тај начин ка највише рангираном исходу државе Б (1,3). У ту сврху почиње се са разматрањем прорачуна државе А у првом чвору од дрвета. У чвору 1, држава А може или изабрати (Ц) и индуковати свој други најбољи исход, или изаберити (Д), што може резултирати или најбољим или најгорим исходом за државу А. Јасно је да држава А треба (рационално) да изабере (Ц) ако очекује да ће држава Б да такође изабере (Ц), пошто би избор (Д) тада резултирао најгорим исходом А. Насупрот томе, држава А треба да изабере (Д) ако очекује да ће држава Б изабрати (Д), пошто ово изазива најбољи исход државе А. Питање је, шта би требало Држава А да очекује од државе Б? Пре него што се одговори на ово питање, прво се треба размотрити избор државе Б у последњем чвору стабла. Ако држава А претпоставља да је држава Б рационална, онда држава А треба да очекује да ће држава Б да изабере стратегију (Д) ако и када држава Б направи свој избор на чвору 2. Разлог је једноставан: најгори исход државе Б повезан је са њеним избором (Ц), а њен следећи најбољи исход са избором (Д). За очекивати је да ће држава Б извршити претњу да ће изабрати (Ц) ако А изабере (Д), због чега се онда може претпоставити да је држава Б ирационална. Следи да држава Б очекује да држава А изабере (Ц), што значи да се може претпоставити да држава Б гаји ирационална очекивања о држави А. Ако ово другачије формулишемо, закључујемо да претња државе Б није веродостојна. Пошто није веродостојна, држава А га може безбедно игнорисати.

Може се приметити шта открива примена повратне индукције на Харсањијеву игру. Рационални избор државе Б у чвору 2 је (Д). Као последица тога, држава А такође треба да изабре (Д) на чвору 1. Значајно је напоменути да је стратешки пар (Д,Д) који је повезан са овим изборима у равнотежи у истом смислу као и претходно наведене две Нешове равнотеже у игри стратешког облика на слици 2, односно ниједан играч нема подстицај за прелазак на другу стратегију под условом да други играч исто то не чини. Такође је значајно да се друга Нешова равнотежа (Ц,Ц) не појављује, зато што је била заснована на нереалној претњи, и елиминисана је поступком повратне индукције.

Јединствени равнотежни пар (Д,Д) који произилази из анализе игра екстензивне форме са слике 1 назива се *савршена равнотежа подигре*. Концепт перфекције подигре развио је

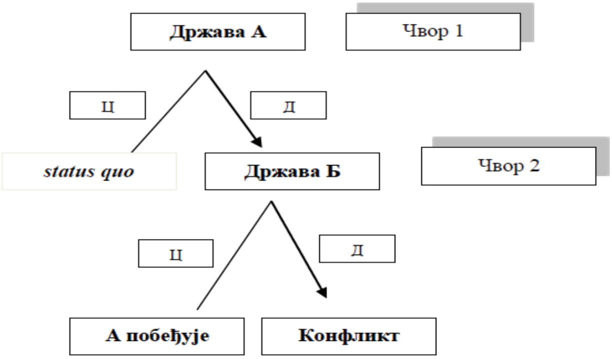
Рајнхард Селтен. Селтенов критеријум савршености представља изузетно важну дораду Нешовог концепта равнотеже, јер елиминише мање савршене Нешове равнотеже из скупа кандидата који испуњавају услове за разматрање као решење игре[6].

## 3. ПРИМЕНА ТЕОРИЈЕ ИГАРА У СТАТЕШКОМ ОДВРАЋАЊУ

Не постоји област безбедности у којој је теорија игара била утицајнија од теорије одвраћања[1]. Приступ Томаса Шелинга, који се сматра за оснивачем класичне теорије одвраћања карактеришу две основне претпоставке: (1) да су државе или њихови доносиоци одлука рационални, и (2) да је рат најгори могући исход одвраћања [7]. Сходно томе, у наставку рада биће представљена кратка расправа ове теме и да се кроз илустрацију једноставног примера покаже како теорија игара помаже ка успешном одвраћању.

Анализираће се рудиментарна асиметрична игра одвраћања која је приказана на слици 2. У овој, можда најједноставнијој игри одвраћања, држава А почиње игру на чвору 1 тако што одлучује да ли да (Ц) прихватити *status quo*, или да захтева (Д) његову промену. Ако држава А изабере (Ц), игра се завршава и исход је *status quo*. Али ако држава А одбија сарадњу, држава Б мора одлучити на чвору 2 да ли да уступи (Ц) – у ком случају је исход да побеђује А – или одбија (Д) захтев и изазива сукоб. Напомињем да су у крајњим тачкама ове једноставне игре одвраћања наведени резултати, а не исплате играча, . да би користили исту форму игре за анализу стратешких импликација више од једне конфигурације исплате.

Применом *повратне индукције* по стаблу игре, одредиће се шта би рационални играчи урадили у овој игри – с обзиром на претпоставку да је сукоб најгори исход за оба играча. Примена овог поступка захтева да се почне са разматрањем потеза и одлука државе Б на чвору 2. У чвору 2, држава Б је суочена са избором између избора (Ц), што доноси победу држави А, и бирању (Д), што доводи до сукоба. Ако се претпоставља да је сукоб најгори могући исход, држава Б, ако је рационална, може само да одабере да призна захтев А, из чега произилази да је  победа А најпожељнија исход. С обзиром да ће држава Б рационално одлучити да попусти у чвору 2, шта би требало држава А да одлучи у  чвору 1? Држава А може да прихвати захтеве, у ком случају ће исход бити status quo, или може да одбије, у ком случају ће исход бити победа А, јер ће рационална одлука Б бити да уступи у чвору 2. Ако држава А има подстицај да се поремети status quo, односно ако је треба одвратити јер је А преферира победе у односу на status quo, рационално ће изабрати (Д).



**Слика 2: Рудиментарна асиметрична игра одвраћања**

Дакле, иако се може претпоставити да су државе рационални играчи и да је рат најгори исход за све, не могу се у исто време прихватити обе ове претпоставке и следно томе доћи до логичког закључка да ће одвраћање у овом случају успети. С тим у вези, када се правилно користе, теорије игара, могу помоћи у идентификацији погрешне теорије. Стога се може поставити питање да, ако су суштинске претпоставке класичне теорије одвраћања недоследне у процењивању могућности успеха одвраћања, које су претпоставке конзистентне? То се може показати у рудиментарној асиметричној игри одвраћања, где status quo може остати стабилан, а одвраћање може успети, али само ако претња државе Б буде веродостојна у смислу како је ојашњава Ричард Селтен, односно ако је рационално да се претња изврши. Да би се ово разумело, претпоставља се да држава Б преферира сукоб него победу државе А, што имплицира да сукоб није најгори могући исход за државу Б.) Са овом претпоставком, рационални избор државе Б у чвору 2 сада је (Д) и одбијање захтева државе А за променом status quo. Међутим, рационални избор државе Б није једини рационални избор који се мења са овом новом претпоставком. Рационалан избор државе А је такође другачији. Примењујемо индукцију уназад на одлуку државе А на чвору 1 и могући избор између status quo и сукоба. То значи да ће status quo трајати, а одвраћање успети, све док држава А преферира мир над ратом. С друге стране, неће успети кад год је ова последња преференција обрнута, чак и када је претња државе Б веродостојна.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Међу областима студија безбедности које су данас под великим утицајем теорије игара су питања почетка и ескалација међудржавних сукоба, конроле наоружавања и др. Примена префињенијих варијанти Нешове равнотеже дозвољава аналитичарима да развију нијансиранија објашњења и боља предвиђања тока међудржавних сукоба. Слично, када је у питању концепт стратешког одвраћања, може се запазити да успех одвраћања не зависи у великој мери од веодостојности претњи. Предност теорије игара је то што њена формална структура олакшава идентификацију недоследних претпоставки у концепту одвраћања, истиче импликације почетних претпоставки и повећава вероватноћу логичке аргументације.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Harsanyi, J. (1977). “Advances in Understanding Rational Behavior.” In Robert E. Butts and Jaakko Hintikka (eds.), Foundational Problems in the Special Sciences. Dordrecht: D. Reidel, pp. 315–43.

[2] Haywood, O. J., Jr. (1954). “Military Decision and Game Theory.” Operations Research, 2(4): 365–85.; McDonald, John, and John W. Tukey (1949). “Colonel Blotto: A Problem of Military Strategy.” Fortune, June: 102.

[3] Капор, П. (2017). Теорија игара: системски приступ и развој. Мегатренд ревија, Вол. 14, № 1, 2017: 253-282.

[4] Миловановић, М. (2004). *Одлучивање у борбеним дејствима*. Војна академија, Београд, 122-123.

[5] Мукић, Н. (2014). Теорија игара: математичке основе митова и парадокса, Универзитет у Новом Саду, 48 -52.

[6] Selten, R. (1975). “Reexamination of the Perfectness Concept for Equilibrium Points in Extensive Games.” *International Journal of Game Theory*, 4(1): 25–55.

[7] Schelling, T. (1980). *The Strategy of Conflict*, Harvard University Press.

[8] Zagare, F. (2019). Game Theory and Security Studies, in *Game Theory, Diplomatic History and Security Studies*, New York: Oxford University Press.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ИЗБОР ВОЗАЧА ЗА РЕАЛИЗАЦИЈУ ЗАДАТКА У ВОЈСЦИ ПРИМЕНОМ COCOSO МЕТОДЕ

# SELECTION OF DRIVER FOR TASK IMPLEMENTATION IN THE MILITARY USING THE COCOSO METHOD

НЕМАЊА МАТЕЈИЋ[1], ЈОВАНА МИЈАТОВИЋ[2]

[1] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, nemanjamatejic4@gmail.com
[2] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, jovanamijatovic42@gmail.com

***Резиме:*** *Избор возача за задатак у војној органзацији је једно од важних питања са којим се суочавају командири јединица. Сваки возач има одређене предности и мане у поређењу са својим колегама, као што и сваки транспортни задатак има своје специфичности. У овом раду је приказан пример решавања проблема избора возача за реализацију транспортног задатка у Војсци, вишекритеријумским приступом, применом COCOSO методе (Combined Compromise Solution). Тиме се у реализацију задатка уграђује већи ниво безбедности, квалитета и ефикасности извршења.*

***Кључне речи:*** *Избор возача, вишекритеријумско одлучивање, COCOSO метода*

***Abstract:*** *The selection of a driver for a task within a military organization is one of the important issues faced by unit commanders. Each driver has certain advantages and disadvantages compared to their colleagues, just as each transportation task has its own specificities. This paper presents an example of solving the problem of selecting a driver for the implementation of a transportation task in the military using a multi-criteria approach, applying the COCOSO method (Combined Compromise Solution). This approach incorporates a higher level of security, quality, and efficiency in task execution.*

***Keywords:*** *Driver selection, multi-criteria decision making, COCOSO method.*

## 1. УВОД

Процес одабира возача за извршење транспортног задатка у Војсци обухвата низ поступака који се предузимају са циљем утицаја на безбедност, очување возила, сигурност терета и општу оперативну способност. Упркос томе, често се избору возача за задатак превожења људи или трансорта материјалних средстава приступа рутински, на бази интуиције и искуства и без аналитичког приступа проблему.

Возачи су кључни фактор у обезбеђивању безбедности транспортних операција. Квалификовани возачи са вештинама и искуством који одговарају предстојећем транспортном задатку, могу смањити ризик од саобраћајних незгода и непожељних ситуација током реализације задатка. Зато се процесу избора возача мора посветити посебна пажња, а све са циљем минимизације ризика по живот и материјалне ресурсе.

У овом раду предложена је вишекритеријумска COCOSO метода одлучивања која се може применити у различитим доменима и ситуацијама, посебно тамо где је потребно одлуке донети у кратком временском року, на основу више критеријума, али уз објективну и на информацијама засновану процену и избор.

## 2. ПРИМЕНА COCOSO МЕТОДЕ У РАЗЛИЧИТИМ ОБЛАСТИМА

COCOSO је релативно нова техника вишекритеријумског одлучивања (ВКО) која води до компромисног решења заснованог на једноставном моделу збирне пондерисане вредности и моделу пондерисаних производа [12]. Откако је настала, ова метода постаје све популарнија у решавању разних проблема доношења одлука. Области примене су разноврсне: процена безбедности [9], избор добављача [3], оптимизација производних и радних процеса [4], избор стратегије [8] итд. Примери примене COCOSO методе за решавање различитих проблема могу се видети и у [2, 7, 10, 11].

У овом раду, метода COCOSO је примењена за избор возача за извршење транспортног задатка у Војсци, који се спроводи на основу више критеријума примерених конкретним, специфичним условима војне средине.

## 3. АЛГОРИТАМ COCOSO МЕТОДЕ

Ова метода је интегрисани приступ заснован на једноставном моделу збирне пондерисане вредности и моделу пондерисаних производа. Њени процедурални кораци се могу видети у [5]:

**Корак 1: Формирање почетне матрице одлучивања**

Почетна матрица одлучивања формира се узимајући у обзир *m* алтернатива и *n* критеријума (карактеристика).

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

где је $x_{ij}$ вредност перформанси *i*-те алтернативе у односу на *j*-ти критеријум.

**Корак 2: Нормализација матрице одлучивања**

Зависно од врсте разматраног критеријума, почетна матрица одлучивања се потом нормализује применом следећих једначина [1]:

- За критеријуме бенефита (за које је пожељна што већа вредност алтернативе по том критеријуму):

$$n_{ij} = \frac{X_{ij} - minX_{ij}}{maxX_{ij} - minX_{ij}} \tag{2}$$

- За критеријуме трошкова (за које је пожељна што мања вредност алтернативе по том критеријуму):

$$n_{ij} = \frac{maxX_{ij} - X_{ij}}{maxX_{ij} - minX_{ij}} \tag{3}$$

где су $n_{ij}$ нормализоване вредности елемената $x_{ij}$.

**Корак 3: Израчунавање тежинских снага (Pi) и сума тежинских бодова (Si) за поређење секвенци**

У трећем кораку се израчунавају тежинске снаге за поређење секвенци и суме тежинских бодова за поређење секвенци, за сваку од алтернатива.

$$Pi = \sum_{j=1}^{n} (n_{ij})^{wj} \tag{4}$$

$$Si = \sum_{j=1}^{n} (Wj \times n_{ij}) \tag{5}$$

где је *Wj* тежина додељена *j*-том критеријуму.

**Корак 4: Процена оцена**

Процене оцена за сваку алтернативу могу се израчунати применом неке од следеће три стратегије агрегације:

$$K_{ia} = \frac{Pi + Si}{\sum_{i=1}^{m}(Pi + Si)} \tag{6}$$

$$K_{ib} = \frac{Pi}{\min Pi} + \frac{Si}{\min Si} \tag{7}$$

$$K_{ic} = \frac{\lambda \times Pi + (1-\lambda) \times Si}{\lambda \times maxPi + (1-\lambda) \times maxSi}(0 \leq \lambda \leq 1)(\lambda = 0.5 \text{ подразумевано}) \tag{8}$$

**Корак 5: Израчунавање коначне процене оцена (*Ki*)**

Коначна процена оцена за сваку алтернтиву се израчунава применом једначине (9).

$$Ki = (K_{ia} \times K_{ib} \times K_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3}(K_{ia} \times K_{ib} \times K_{ic}) \tag{9}$$

На крају се алтернатива са највишом проценом оцене идентификује као најбоља опција за коначни избор.

## 4. ПРИМЕР ПРИМЕНЕ COCOSO МЕТОДЕ ЗА ИЗБОР ВОЗАЧА

Приликом извршавања специфичних, наменских задатака превожења или транспорта у војсци једна од веома битних одлука командира јединице која реализује задатак јесте правилан избор возача и возила за извршење задатка. Погрешне одлуке у овој фази реализације задатка (припрема за извршење), одређују каснију евентуалну одговорност и пропусте војне организације, уколико дође до саобраћајне незгоде. По правилу, у пракси се одлука о возачу који ће реализовати задатак доноси на основу субјективне процене и мишљења (утиска) командира о возачима (потенцијалним кандидатима за извршење задатка).

Применом вишекритеријумских модела, релативно једноставних за спровођење, унело би се више објективности у одлуке, а самим тим би и у реализацију задатка био „уграђен“ мањи степен ризика.

У том смислу, за пример примене COCOSO методе за избор возача за транспортни задатак изабран је реалан задатак из праксе једница Војске Србије, који се односио на превожење високих државних и војних званица, а током чијег извршења је дошло до саобраћајне незгоде (детаљи задатка превожења и саобраћајне незгоде која се догодила могу се пронаћи у [6]).

У конкретном примеру примене методе број алтернатива је број возача који су били расположиви за реализацију задатка, док је број критеријума број карактеристика, односно перформанси по којима се вреднују расположиви возачи. Као крајњи резултат примене методе добија се ранг возача, на основу кога се може изабрати возач који по својим карактеристикама највише одговара захтевима конкретног транспортног задатка.

На основу навода у [6] одабрани су следећи критеријуми који су битни приликом избора возача за задатак:

C1 – Радно искуство возача;
C2 – Квалификације возача;
C3 – Поузданост и одговорност возача;
C4 – Историја безбедног учешћа возача у саобраћају;
C5 – Знање руте и географског подручја;
C6 – Комуникацијске вештине.

За сваки конкретан задатак може се изнова разматрати скуп критеријума, уз евентуално укључивање или искључивање неког од критеријума. Такође, релативни значај критеријума је питање које треба решавати од случаја до случаја, тј. од задатка до задатка. За конкретан задатак изабране релативне тежине критеријума су приказане у табели 1.

**Табела 1:** Тежина критеријума

| **Критеријум** | **C1** | **C2** | **C3** | **C4** | **C5** | **C6** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wj | 0.21 | 0.22 | 0.15 | 0.18 | 0.13 | 0.12 |

Након избора алтеранатива и критеријума, у складу са корацима примене COCOSO методе, најпре је потребно формирати почетну матрицу одлучивања.

$$X = \begin{bmatrix} 10 & 5 & 6 & 6 & 7 & 8 \\ 7 & 8 & 8 & 5 & 8 & 6 \\ 4 & 9 & 7 & 6 & 9 & 7 \\ 9 & 4 & 8 & 8 & 6 & 9 \\ 9 & 8 & 7 & 7 & 8 & 9 \end{bmatrix}$$

У другом кораку, извршена је нормализација почетне матрице, према изразу (2). Резултати нормализације приказани су у Табели 2.

**Табела 2:** Нормализована матрица одлучивања

| **Критеријум** | **C1** | **C2** | **C3** | **C4** | **C5** | **C6** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Возачи** | | | | | | |
| B1 | 1.00 | 0.20 | 0.00 | 0.34 | 0.34 | 0.67 |
| B2 | 0.50 | 0.80 | 1.00 | 0.00 | 0.67 | 0.00 |
| B3 | 0.00 | 1.00 | 0.50 | 0.34 | 1.00 | 0.34 |
| B4 | 0.84 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 |
| B5 | 0.84 | 0.80 | 0.50 | 0.67 | 0.67 | 1.00 |

Следећи корак укључује одређивање вредности Si и Pi за сваку алтернативу (возача) користећи једначине (4) и (5). Резултати су приказани у Табелама 3 и 4.

**Табела 3:** Вредности параметара Si и Pi

| **Возачи** | **B1** | **B2** | **B3** | **B4** | **B5** |
|---|---|---|---|---|---|
| Si | 0.43 | 0.52 | 0.53 | 0.63 | 0.77 |
| Pi | 4.34 | 3.76 | 4.6 | 3.96 | 5.69 |

На основу вредности Si и Pi, из претходне табеле, израчунате су вредности коенфицијента $K_{ia}$, $K_{ib}$ и $K_{ic}$, који су коришћени за коначно рангирање алтернатива (возача) коришћењем COCOSO методе, као што је приказано у Табели 4.

**Табела 4:** Детаљи израчунавања добијени примене COCOSO методе

| **Возачи** | **Kia** | **Kib** | **Kic** | **Ki** | **Рангирање** |
|---|---|---|---|---|---|
| В1 | 0.19 | 2.15 | 0.74 | 0.77 | 4 |
| В2 | 0.17 | 2.21 | 0.66 | 0.71 | 5 |
| В3 | 0.20 | 2.46 | 0.80 | 0.86 | 2 |
| В4 | 0.18 | 2.51 | 0.71 | 0.79 | 3 |
| В5 | 0.26 | 3.30 | 1.00 | 1.24 | 1 |

Према резултатима примене COCOSO методе у конкретном примеру, возач који највише одговара захтевима задатка превожења јесте возач број 5. У пракси је за задатак изабран возач број 1.

Иако се не може са сигурношћу тврдити да до саобраћајне незгоде не би дошло да је за задатак изабран возач под редним бројем 5, евидентно је да су аналитички приступ и примена вишекритеријумског избора указали на могућност мањег прихватања ризика при реалзацији задатка.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Многе одлуке у реалном свету су комплексне и укључују више циљева или критеријума који треба узети у обзир. У ситуацијама када доносиоци одлука имају различите преференције и вредности, вишекритеријумско одлучивање омогућава квантификовање тих преференција и објективно упоређивање различитих опција. Применом вишекритеријумских модела се може остварити различити бенефити у погледу повећања квалитета услуге, транспарентности, перформанси и ефикасности, смањења субјективности, боље информисане одлуке.

Вишекритеријумско одлучивање пружа транспарентност у процесу доношења одлука, јер омогућава јасан приказ критеријума и њихових тежина. Ово помаже у објективном вредновању и упоређивању опција, што смањује субјективне предрасуде или пристрасност у доношењу одлука. Употребом вишекритеријумског одлучивања, организације могу оптимизовати употребу расположивих ресурса. Одлуке се могу донети на основу приоритета и циљева који су постављени за различите критеријуме, чиме се обезбеђује ефикасно коришћење ресурса.

У суштини, вишекритеријумско одлучивање пружа систематичан и структуриран приступ доношењу одлука који узима у обзир више фактора и помаже доносиоцима одлука да направе информисане и оптималне изборе у сложеним ситуацијама.

Важно је напоменути да ефикасност и брзина примене метода вишекритеријумског одлучивања такође уско повезана са сложеношћу самог проблема и степеном анализе који је потребан да би се донела информисана одлука. У неким случајевима, улагање времена и ресурса у детаљну анализу може бити оправдано ради постизања квалитетних резултата и оптималних решења.

## ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је проистекао из научноистраживачког пројекта ВА-ТТ/2/20-25 који финансира Министарство одбране Републике Србије.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Chakraborty S, Das PP, Kumar V (2018) Application of grey-fuzzy logic technique for parametric optimization of nontraditional machining processes. Grey Syst Theory App,

[2] Dayanand S. Rajput, Vimal Bhatia (2020) Coconut Shell Optimization: A Nature-Inspired Metaheuristic Algorithm for Global Optimization Problems,

[3] Ecer F, Pamucar D (2020) Sustainable supplier selection: a novel integrated fuzzy best worst method (F-BWM) and fuzzy CoCoSo with Bonferroni (CoCoSo'B) multi-criteria model. J Clean Prod,

[4] Kharwar PK, Verma RK, Singh A (2020) Neural network modeling and combined compromise solution (CoCoSo) method for optimization of drilling performances in polymer nanocomposites. J Thermoplast Compos Mater. https:// doi. org/ 10. 1177/ 08927 05720 939165,

[5] Kumar V, Kalita K, Chatterjee P, Zavadskas EK, Chakraborty S (2021) A SWARA-CoCoSo-based approach for spray painting robot selection. Informatica. https:// doi. org/ 10. 15388/ 21- INFOR 466,

[6] Milutinović, D. (2023). Izbor modela dubinske analize saobraćajnih nezgoda vojnih vozila, završni rad. Škola nacionalne odbrane, Beograd

[7] Nirali Patel, Vishal Gohil, Nikhil Shrivastava (2020) Coconut Shell Optimization for Solving Traveling Salesman Problem,

[8] Peng X, Garg H (2021) Intuitionistic fuzzy soft decision making method based on CoCoSo and CRITIC for CCN cache placement strategy selection. Artif Intell Rev. https:// doi. org/ 10. 1007/ s10462- 021- 09995-x,

[9] Peng X, Smarandache F (2020) A decision-making framework for China's rare earth industry security evaluation by neutrosophic soft CoCoSo method. J Intell Fuzzy Syst,

[10] Seyedali Mirjalili (2019) Cocoso: A Coconut Shell Optimization Algorithm for Solving Global Optimization Problems,

[11] Shashank Sharma, Ankur Singh Bist (2020) Coconut Shell Optimization Algorithm for Continuous Problems,

[12] Yazdani M, Zarate P, Zavadskas EK, Turskis Z (2019) A combined compromise solution (CoCoSo) method for multicriteria decision-making problems. Manag Decis

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИЛОГ АНАЛИЗИ ОСЕТЉИВОСТИ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА У СИСТЕМУ ОДБРАНЕ

# CONTRIBUTION TO THE SENSITIVITY ANALYSIS OF MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING IN THE DEFENCE SYSTEM

РАДИША САКОВИЋ[1], МАРКО ГОЛУБОВИЋ[2], МИТАР КОВАЧ[3]

[1] Управа за стратегијско планирање, Сектор за политику одбране, Београд, radisa.sakovic@mod.gov.rs
[2] Управа за стратегијско планирање, Сектор за политику одбране, Београд, marko.golubovic@mod.gov.rs
[3] Факултет за пројектни и иновациони менаџмент, Универзитет Едуконс, Београд, mitar.kovac21@gmail.com

***Резиме:*** *У току примене вишекритеријумског одлучивања у свим областима људске делатности, а тиме и у систему одбране, често долази до ситуација да више метода указује на исти избор алтернатива, што није довољно ваљан аргумент за потврђивање рационалности и ваљаности добијеног решења. С тим у вези, управо због ситуација када резултати нису у потпуности међусобно сагласни, постоји потреба да се у поступку решавања проблема вишекритеријумског одлучивања, поред примене више метода, испита и стабилност добијеног решења. Предложени начин испитивања стабилности добијеног решења представља покушај аутора да укаже на практичан значај спровођења анализе осетљивости у процесу вишекритеријумског одлучивања у Министарству одбране и Војсци Србије, као и другим субјектима планирања одбране.*

***Кључне речи:*** *систем одбране, вишекритеријумско одлучивање, анализа осетљивости, методе, алтернативе, решења.*

***Abstract:*** *During the application of multi-criteria decision-making in all areas of human activity, and thus also in the defence system, it frequently occurs that multiple methods indicate the same alternative choice, which is not a sufficiently valid argument for confirming the rationality and validity of the obtained solution. In this regard, precisely due to situations when the results are not mutually consistent, there is a need to examine the stability of the obtained solution in the process of addressing multi-criteria decision-making problems in addition to employing multiple methods. The proposed approach for examining the stability of the obtained solution represents the author's attempt to emphasize the practical significance of conducting sensitivity analysis in the process of multi-criteria decision-making in the Ministry of Defence and the Serbian Armed Forces, as well as other subjects of defence planning.*

***Keywords:*** *defence system, multi-criteria decision-making, sensitivity analysis, methods, alternatives, solutions.*

## 1. УВОД

Примена метода вишекритеријумског одлучивања знатно је интензивирана у систему одбране, а посебно у Министарству одбране и Војсци Србије. Применом метода вишекритеријумског одлучивања, као коначан резултат рангирања алтернатива, добијају се рангови који су изражени кроз вредности критеријумских функција. Међутим, искуствена пракса је показала да различите вишекритеријумске методе углавном дају различите резултате рангирања. Разлике рангова добијених применом различитих метода, разматрају се у бројним радовима, тако да аутори углавном избегавају фаворизовање било које методе, али се и ретко упуштају у анализу разлога различитог рангирања, што је посебно карактеристично за ауторе из Министарства одбране и Војске Србије.

Ради испитивања стабилности решења, најчешће се врши провера (контрола) његове промене у ситуацијама када се мењају вредности фактора укључених у алгоритам вишекритеријумског одлучивања. У раду је за референтну ранг листу алтернатива приказана ранг листа добијена VIKOR методом, у процесу истраживања избора оптималног модела управљања перформансама Министарства одбране и Војске Србије, док су резултати добијени осталим методама (COPRAS, MABAC и MAIRCA) упоређени су са њеним резултатима [8].

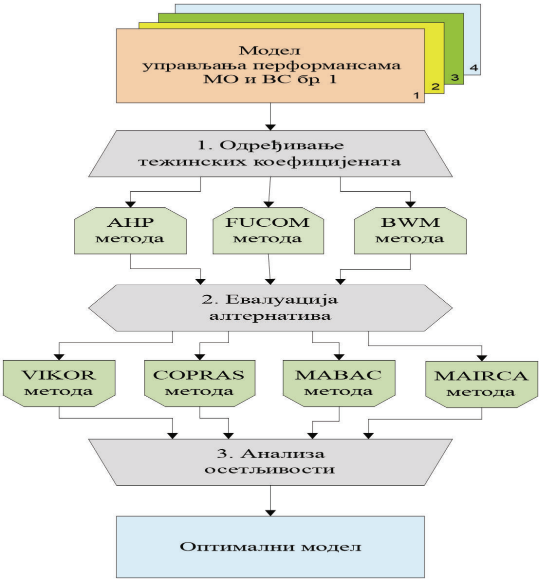
Сагласно савременим трендовима у области операционих истраживања, анализа осетљивости решења која су добијена применом метода вишекритеријумског одлучивања, постала је један од нужних корака у алгоритму за избор оптималног модела и све више ће се примењивати у систему одбране за решавање различитих истраживачких проблема.

## 2. АНАЛИЗА ОСЕТЉИВОСТИ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА

У складу са предметом истраживања, тренутна сазнања указују на део домаћих и страних аутора који су разматрали истраживачке проблеме из предметне области, при чему се посебно издваја рад домаћих аутора Памучара и Ћировића [6] који наводе, да објективан избор методе вишекритеријумског одлучивања подразумева дефинисање критеријума на основу којих би се утврдила рационалност добијених решења, а тиме омогућило поређење сродних метода и избор оптималне методе.

Према радовима Памучара и др. [7], поузданост методе се може дефинисати као мера поверења доносиоца одлуке у резултате добијене њеном применом. У радовима Јуа и др. [10], Стивенс – Навара и др. [9], Корентеа и др. [11], Канана и др. [3], у којима се врши провера стабилности добијеног решења у вишекритеријумском одлучивању, поред поређења са решењима добијеним другим методама, анализа се често заснива и на одговарајућој анализи осетљивости резултата на промене појединих параметара у моделу одлучивања.

У раду је приказан алгоритам за избор оптималног модела управљања перформансама Министарства одбране и Војске Србије у односу на четири предложена модела (алтернативе) [8] – Слика 1.



**Слика 1:** Алгоритам за избор оптималног модела

Алгоритам за избор оптималног модела у трећем кораку обухвата анализу осетљивости резултата, односно анализу избора алтернатива добијених по VIKOR методи са другим методама вишекритеријумског одлучивања (COPRAS, MABAC и MAIRCA), као и поређење рангова алтернатива примењених метода вишекритеријумског одлучивања и утврђивање степена њихове корелације. Такође, анализа осетљивости резултата могла се извршити поређењем рангова алтернатива добијених било којом од наведених метода са преостале три методе. Приказани алгоритам је обухватио анализу осетљивости променом тежинских коефицијената кроз одређени број сценарија, без обзира што постоје само четири алтернативе [8].

Избор оптималне методе је веома сложен процес који без претходне анализе осетљивости решења више метода може да има за последицу лош избор, што може негативно да утиче на управљање организацијом, као и на њену ефикасност и ефективност, а што је посебно карактеристично за профитне организације. С тим у вези, алгоритам за избор оптималног модела треба да као посебан корак обухвати анализу осетљивости резултата (алтернатива), где таква анализа најчешће садржи поређење резултата различитих метода вишекритеријумског одлучивања кроз промену тежинских коефицијената критеријума.

Циљ анализе осетљивости на промене тежине критеријума јесте утврђивање да ли промена тежине критеријума утиче на промену ранга алтернатива добијених неком од метода. У овом случају, резултат рангирања не сме да зависи од мерне скале у којој је изражена било која вредност критеријума.

Након одређивања тежинских коефицијената критеријума применом VIKOR методе, за потребе анализе осетљивости идентификован је „најважнији критеријум“. Циљ анализе осетљивости је процена утицаја најважнијег (најутицајнијег) критеријума на перформансе рангирања предложеног модела. На основу препорука компетентних аутора, Кахрамана [4] и Кикворда [5], дефинисан је израз 1, којим се изражава пропорционалност тежина током анализе осетљивости [8]:

$$w_c = (1 - w_s) \times \left(\frac{w_c^0}{W_c^0}\right) = w_c^0 - \Delta x a_c \qquad (1)$$

где $w_c$ представља промену тежина критеријума у анализи осетљивости, $w_s$ представља тежину осетљивог критеријума (најважнији критеријум), $w_c^0$ представља оригиналне вредности тежина критеријума (добијене применом VIKOR методе) и $W_c^0$ представља суму оригиналних вредности тежина критеријума које се мењају. Параметар $a_c$ дефинисан је као тежински коефицијент еластичности који изражава релативну компензацију других вредности тежинских коефицијената у односу на дате промене у тежини најважнијег критеријума. Вредност $a_c$ израчунава се помоћу израза 2:

$$a_c = \frac{w_c^0}{W_c^0} \qquad (2)$$

Вредност тежинског коефицијента еластичности за најзначајнији критеријум дефинисан је увек као један. Однос променљивих тежина остаје константна током читаве анализе. Параметар $\Delta x$ представља количину промене која се примењује на скуп тежинских коефицијената у зависности од њихових коефицијената тежинске еластичности. Промену тежина најважнијег критеријума треба ограничити, у супротном, тежине могу узимати негативне вредности. То би довело до нарушавања ограничења пропорционалности тежина. Параметар $\Delta x$ може бити: (1) позитиван, што показује повећање релативног значаја или (2) негативан, што показује смањење релативног значаја. Границе за $\Delta x$ су дефинисане као највећа промена тежине на најзначајнијем критеријуму у негативном и позитивном смеру. Граничне вредности $\Delta x$ дефинишу се применом израза 3:

$$-w_s^0 \leq \Delta x \leq min\left\{\frac{w_c^0}{a_c}\right\} \qquad (3)$$

Након дефинисања граница за $\Delta \mathbf{x}$ , нове тежине критеријума израчунавају се према претходно постављеним параметрима за анализу осетљивости. Скуп нових вредности тежинских коефицијената прорачунава се применом израза 4 и 5:

$$w_s = w_s^0 + a_s \Delta x \tag{4}$$

$$w_c = w_c^0 + a_c \Delta x \tag{5}$$

где је $\mathbf{w}_s^0$ изворна тежина критеријума подвргнута анализи осетљивости са параметром $a_s$ који је дефинисан као тежински коефицијент осетљивости, док $\mathbf{w}_c^0$ представља оригиналну вредност промењивих тежина [8].

Овај нови скуп критеријума увек задовољава универзално стање пропорционалности тежинских коефицијената да је $\sum \mathbf{w}_s + \sum \mathbf{w}_c = 1.$ На основу добијених нових вредности критеријума рачунају се рангови алтернативе за посматрани сценарио [8].

За потребе извршења анализе осетљивости резултата добијених VIKOR методом, разматране су вредности њених тежинских коефицијената за осам критеријума [8] - Табела 1.

**Табела 1:** Тежински коефицијенти критеријума

| **Критеријуми** | **$K_1$** | **$K_2$** | **$K_3$** | **$K_4$** | **$K_5$** | **$K_6$** | **$K_7$** | **$K_8$** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $W_i$ | 0,0406 | 0,2688 | 0,0710 | 0,2308 | 0,0848 | 0,1093 | 0,0894 | 0,1053 |

У даљем поступку, на основу количника појединачних вредности тежинских коефицијената критеријума $\mathbf{w}_c^0$ и суме њихових вредности $\mathbf{W}_c^0$ (у суму није урачуната вредност најзначајнијег критеријума), добијени су тежински коефицијенти еластичности $a_c$ (Табела 2).

**Табела 2:** Тежински коефицијенти еластичности

| **Критеријум** | $\alpha_c$ | **Критеријум** | $\alpha_c$ |
|---|---|---|---|
| **$K_1$** | 0,0580 | **$K_5$** | 0,1116 |
| **$K_2$** | 1 | **$K_6$** | 0,1737 |
| **$K_3$** | 0,0946 | **$K_7$** | 0,1276 |
| **$K_4$** | 0,2875 | **$K_8$** | 0,1472 |

У следећем кораку одређују се границе промене тежинског коефицијента ($\Delta \mathbf{x}$ ) најзначајнијег критеријума $K_2$. Тако су добијене граничне вредности критеријума $K_2$ које износе - 0,2666 и 0,7334. То указује да тежински коефицијент критеријума $K_2$ може да се повећа за максимални износ од 0,7334, односно да може да се смањи за максимални износ од 0,2666. Изван ових граница, тежине критеријума $K_2$ узеће негативне вредности. У табели 3. приказане су границе промене тежинског коефицијента најзначајнијег критеријума.

**Табела 3:** Границе промене тежинског коефицијента најзначајнијег критеријума

| **Сценарио** | $\Delta x$ | **Сценарио** | $\Delta x$ |
|---|---|---|---|
| **$S_1$** | -0,2666 | **$S_{12}$** | 0,2334 |
| **$S_2$** | -0,2166 | **$S_{13}$** | 0,2834 |
| **$S_3$** | -0,1666 | **$S_{14}$** | 0,3334 |
| **$S_4$** | -0,1166 | **$S_{15}$** | 0,3834 |
| **$S_5$** | -0,0666 | **$S_{16}$** | 0,4334 |
| **$S_6$** | -0,0166 | **$S_{17}$** | 0,4834 |
| **$S_7$** | 0 | **$S_{18}$** | 0,5334 |
| **$S_8$** | 0,0334 | **$S_{19}$** | 0,5834 |
| **$S_9$** | 0,0834 | **$S_{20}$** | 0,6334 |
| **$S_{10}$** | 0,1334 | **$S_{21}$** | 0,6834 |
| **$S_{11}$** | 0,1834 | | |

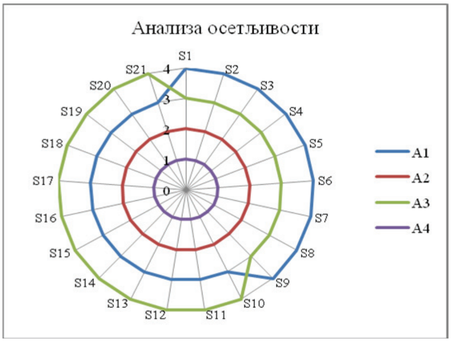
Када је $\Delta x = 0$ (сценарио 7) тежине критеријума постају једнаке оригиналном скупу тежина. Након дефинисања граничних вредности најутицајнијег критеријума, применом израза 5 и 6, израчунавају се нове вредности тежинских коефицијената за 21 сценарио [8].

На основу добијених вредности тежинских коефицијената критеријума, израчунати су нови рангови алтернатива по VIKOR методи (Табела 4).

**Табела 4:** Промене рангова алтернатива по сценаријима

| **Сценарио/ Алтернатива** | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | $S_5$ | $S_6$ | $S_7$ | $S_8$ | $S_9$ | $S_{10}$ | $S_{11}$ | $S_{12}$ | $S_{13}$ | $S_{14}$ | $S_{15}$ | $S_{16}$ | $S_{17}$ | $S_{18}$ | $S_{19}$ | $S_{20}$ | $S_{21}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| $A_2$ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| $A_3$ | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| $A_4$ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Ради уочавања кретања рангова алтернатива током 21 сценарија, израђен је графички приказ (Слика 2).



**Слика 2:** Анализа осетљивости рангова алтернатива

Резултати анализе показују да додељивање различитих тежина критеријумима кроз сценарије доводи до промене рангова појединих алтернатива VIKOR методе (A1 и A3), чиме се потврђује њихова осетљивост на промене тежинских коефицијената. Такође, уочено је да код појединих алтернатива нема промене ранга (A2 и A4), чиме је потврђена стабилност решења.

Прворангирана алтернатива A4 и другорангирана алтернатива A2 су задржале свој ранг у току свих сценарија, док су трећерангирана алтернатива A3 и четврторангирана алтернатива A4 након сценарија S9 замениле свој редослед.

Међутим, можемо да закључимо да те промене нису биле драстичне, што потврђује и корелација рангова кроз сценарије [8]. За одређивање корелације рангова коришћен је Спирманов коефицијент корелације (R), у циљу одређивања статистичке значајности разлике између рангова који су добијени кроз сценарије. Вредности Спирмановог коефицијента корелације добијене су поређењем почетног ранга VIKOR модела са ранговима добијеним кроз сценарије. Резултати оваквог поређења су показали да постоји изузетно велика корелација рангова, јер средња вредност Спирманових коефицијената кроз све сценарије износи 0,90 [8]. Тачније, на основу средње вредности је закључено да постоји велика корелација (блискост) рангова и да је предложени ранг потврђен и кредибилан, односно да четврта алтернатива представља оптималан модел за управљање перформансама Мин+истарства одбране и Војске Србије.

## 3. ЗАКЉУЧАК

Анализа осетљивости вишекритеријумског одлучивања, постала је незаобилазна фаза у процесу доношења одлука на свим нивоима управљања, руковођења и командовања у Министарству одбране и Војсци Србије. Сагласно наведеном, многобројни аутори у својим радовима анализу осетљивости приказују као посебан корак у процесу избора решења (ранга алтернатива), односно у процесу израде алгоритама за избор оптималног модела (варијанте одлуке).

У раду је, на примеру избора оптималног модела управљања перформансама Министарства одбране и Војске Србије, предложен један од могућих начина спровођења анализе осетљивости добијених решења, где је доминантно представљена провера вредности фактора (тежинских коефицијената критеријума) који су укључени у алгоритам вишекритеријумског одлучивања. Конкретно, извршено је поређење резултата добијених једном методом (референтна ранг листа) са резултатима других метода, односно испитана је стабилност добијених решења кроз одговор на питање, да ли промена тежине критеријума утиче на промену рангова алтернатива добијених различитим методама.

Спровођењем анализе осетљивости, резултати истраживања су показали да је стабилност добијених решења већа, уколико се до идентичних решења дође применом већег броја разнородних метода вишекритеријумског одлучивања и обрнуто. У суштини, оваквим приступом доносиоцима одлука у Министарству одбране и Војсци Србије, обезбеђују се релевантни подаци за одлучивање, што непосредно доприноси увећању финансијске добити код профитних, као и унапређењу стања и способности код непрофитних организација, међу којима је и систем одбране.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Kannan, D., Jabbour, A., Jabbour, C., 2014, Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company, European Journal of Operational Research, 233, 432–447.

[2] Kahraman,C., Cebeci,U., Ulukan, Z. (2003), Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP, Logistics Information Management, Vol. 16 Iss 6 pp. 382 – 394.

[3] Kirkwood, C.W. (1997). Strategic decision making: multi-objective decision analysis with Spreadsheets, Duxbury Press, Belmont.

[4] Pamučar, D. & Ćirović, G. (2015). The selection of transport ang handling resources in logistics centres using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). Expert Systems with Applications, 42, 3016-3028.

[5] Pamucar, D., Mihajlovic, M., Obradovic, R., Atanaskovic, P., 2017, Novel approach to group multi-criteria decision making based on interval rough numbers: Hybrid DEMATEL-ANP-MAIRCA model, Expert Systems with Applications, 88, 58-80.

[6] Саковић, Р. (2022). Модел управљања перформансама Министарства одбране и Војске Србије у функцији спровођења планских докумената система одбране Републике Србије, докторска дисертација, Универзитет одбране, Београд, 147-155.

[7] Stevens-Navarro, E., Martinez-Morales, J.D., Pineda-Rico, U., 2012, Evaluation of Vertical Handoff Decision Algorightms Based on MADM Methods for Heterogeneous Wireless Networks, Journal of Applied Research and Technology, 10, 534–548.

[8] Yu, O.-Y., Guikema, S.D., Briaud, J.-L., Burnett, D., 2012, Sensitivity Analysis for Multi-Attribute System Selection Problems in Onshore Environmentally Friendly Drilling (EFD), Systems engineering, 15(2), 153–171.

[9] Corrente, S., Figueira, J., Greco, S., 2014, The SMAA-PROMETHEE method, European Journal of Operational Researsch, 239(2), 514–522. Kahraman, Y.R. (2002). Robust sensitivity analysis for multi-attribute deterministic hierarchical value models, Storming Media, Ohio.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50. СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# RAČUNARSKA SIMULACIJA SUKOBA SAMOHODNIH RAKETNO - ARTILJERIJSKIH SISTEMA I HELIKOPTERA KAO HIBRIDNE PRETNJE

# COMPUTER SIMULATION OF CONFLICT BETWEEN SELF - PROPELLED MISSILE ARTILLERY SYSTEMS AND HELICOPTER AS HYBRID THREAT

RADOMIR JANKOVIĆ

Računarski Fakultet Univerziteta Union, Beograd, rjankovic@raf.rs

---

***Rezime:*** *Realizovana je softverska simulacija sukoba samohodnih raketno-artiljeriijskih sistema i naoružanog helikoptera kao hibridne pretnje cilju koji se nalazi unutar 3-dimenzionalne ćelije teritorije. Date su potrebne definicije, opis simuliranog sistema, algoritam simulatora i mera performanse. Prikazani su neki od rezultata prvih eksperimenata izvedenih sa realizovanim simulatorom.*

***Ključne reči:*** *Simulacija, hibridno ratovanje, sukob, samohodni artiljerijsko-raketni sistem, helikopter.*

***Abstract:*** *Software simulation of conflict between self-propelled missile-artilllery systems and armed helicopter as a hybrid threat to its target situated in 3-dimensional territory cell, has been realised. Necessary definitions have been given, as well as starting assumptions, the simulated system description, the simulator algorithm, and the performance measure have been given. Some results of the first experiments executed with the realised simulator have been presented.*

***Keywords:*** *Simulation, hybrid warfare, conflict, self-propelled missile-artillery system, helicopter.*

---

## 1. UVOD

Živimo u opasnim vremenima, opterećenim sukobima, od onih lokalnih i regionalnih, do opštih neđucivilizacijskih ratova, u kojima su čak i neutralne zemlje izložene pritiscima različitih oblika, a posebno hibridnom ratovanju, definisanom kao „sukob koji obuhvata kombinaciju konvencionalnih vojnih snaga i onih neregularnih (gerilskih, pobunjeničkih i terorističkih), za postizanje zajedničke političke svrhe” [1]. Kako takvi sukobi imaju elemente i konvencionalnih i neregularnih aktivnosti, za odgovor na hibridnu pretnju, potrebna je hibridna strategija [2].

U ovom radu, razmatraju se dva suprotstavljena oruđa koja koriste protivnici u takvom sukobu:

- Naoružani helikopter, kao hibridna pretnja (HHT), pogodna platforma [3] za aktivnosti neregularnog ratovanja (raketni napadi i/ili prevoz diverzantskih timova);
- Samohodni raketno-artiljerijski sistemi (SHRAS), koji brane cilj helikoptera kao pretnje (CILJ), smešten u središtu osnovice 3-dimenzionalne ćelije teritorije (CT).

Da bi se steklo znanje i razvili pogodni taktički postupci u upotrebi takvih orudja u hibridnom ratovanju, predloženo je istraživanje upotrebom računarske simulacije [4].

Cilj ovog rada je da prikaže neke od rezultata prvih eksperimenata izvedenih sa razvijenim simulatorom odbrane 3-dimenzionalne ćelije teritorije od helikoptera kao hibridne pretnje.

## 2. SIMULIRANI SISTEM

Simulirani sistern sastoji se od: 3-dimenzionalne ćelije teritorije (CT), helikoptera kao hibridne pretnje (HHT), samohodnih raketno-artiljerijskih sistema (SHRAS) kao branilaca CT i komandno-informacionog sistema (KIS). Karakteristike delova simuliranog sistema i njihove vrednosti u eksperimentima u ovom radu, date su u **Tabeli 1**.

**Tabela 1:** Karakteristike delova simuliranog sistema

| Oznaka | Opis | dnost u eksperimentima |
|---|---|---|
| $X_{max}$ [m] | Maksimalna relativna X koordinata ćelije teritorije | 100000 |
| $Y_{max}$ [m] | Maksimalna relativna Y koordinata ćelije teritorije | 100000 |
| $Z_{max}$ [m] | Maksimalna relativna Z koordinata ćelije teritorije | 3500 |
| $NHSRAS$ | Broj SHRAS u sistemu | 1 do 6 |
| $VL_{max}$ [m/s] | Maksimalna brzina kretanja SHRAS | 25 |
| $p_m / p_s$ | Verovatnoća uništenja HHT 1 raketom/salvom od 2 rakete | 0.7 / 0.91 |
| $t_{rM}$ [s] | Vreme reakcije SHRAS za lansiranje raketa | 6 |
| $t_{mb}$ [s] | Buster vreme rakete SHRAS | 1.5 |
| $T_{UP}$ [s] | Vreme između lansiranja 2 uzastopne salve od po 2 rakete | 1.5 |
| $RM_{max}$ [m] | Maksimalni domet raketa SHRAS | 12000 |
| $RM_{min}$ [m] | Minimalni domet raketa SHRAS | 1200 |
| $AM_{max}$ [m] | Maksimalna visina za rakete SHRAS | 6000 |
| $AM_{min}$ [m] | Minimalna visina za rakete SHRAS | 5 |
| $p_g$ | Verovatnoća uništenja HHT topovima SHRAS | 0.3 |
| $t_{rG}$ [s] | Vreme reakcije SHRAS za dejstvo topova | 2 |
| $RG_{max}$ [m] | Maksimalni domet topova SHRAS | 4000 |
| $RG_{min}$ [m] | Minimalni domet topova SHRAS | 200 |
| $AG_{max}$ [m] | Maksimalna visina za topove SHRAS | 3000 |
| $AG_{min}$ [m] | Minimalna visina za topove SHRAS | 5 |
| $R_{surv}$ [m] | Domet osmatračkog radara SHRAS | 36000 |
| $El_{survmax}$ [0] | Maksimalni elevacioni ugao osmatračkog radara SHRAS | 60 |
| $El_{survmin}$ [0] | Minimalni elevacioni ugao osmatračkog radara SHRAS | 0 |
| $Rtt$ [m] | Domet radara za praćenje i navođenje SHRAS | 28000 |
| $V_{HHTmax}$ [m/s] | Maksimalna brzina HHT | 66.66 |
| $R_{MHHTmax}$ [m] | Maksimalni efektivni domet vođenih raketa HHT | 8000 |
| $V_{SHRASmax}$ [m/s] | Maksimalna brzina SHRAS | 25 |
| $D_{\mathbf{HHT}\text{-}CILJmin}$ [m] | Minimalno rastojanje HHT do cilja za uspeh misije HHT | 8000 |
| $\Delta t$ [s] | Osnovni interval komandno-informacionog sistema | 150 |
| $P_{KIS}$ [m] | Preciznost komandno-informacionog sistema | 100 |
| $UZORAK$ | Broj simulacionih prolaza po eksperimentu | 10000 |
| Početni položaj HHT na ivici ćelije teritorije | | Slučajan |
| Početni položaj svih SHRAS na osnovici ćelije teritorije | | Slučajan |
| Položaj cilja HHT u ćeliji teritorije | | U težištu osnovice |
| Zakon kretanja HHT ka njegovom cilju | | Pravolinijsko, jednako |
| Zakon kretanja svih SHRAS u rojenju ka HHT | | Pravolinijsko, jednako |

## 2.1. Ćelija teritorije

**Ćelija teritorije** (CT), u kojoj se odvijaju borbena dejstva, predstavljena je 3-dimenzionalnim pravouglim prostorom, sa relativnim koordinatnim početkom u jednom od uglova njegove osnovice i okarakterisana je maksimalnim vrednostima svojih koordinata ($X_{max}$, $Y_{max}$, $Z_{max}= A_{Mmax}$), gde je $A_{Mmax}$ maksimalna visina do koje branioci (SHRAS) mogu da lansiraju rakete prema helikopteru (HHT) u vazduhu. Unutar CT, **cilj** HHT (CILJ) nalazi se na njenoj osnovici i predstavljen je svojim koordinatama ($X_T=X_{max}/2$, $Y_T=Y_{max}/2$, $Z_T$).

## 2.2. Helikopter kao hibridna pretnja

Na početku simulacije, **helikopter kao hibridna pretnja** (HHT) nalazi se na slučajnom položaju, na bilo kojoj od vertikalnih strana CT; posle toga se usmerava ka svom CILJU, u skladu sa unapred definisanim zakonom kretanja i svojom maksimalnom brzinom, $V_{HHTmax}$.

HHT može da napadne svoj CILJ vođenim raketama sa maksimalnim dometom $R_{MHHTmax}$. Smatra se da je misija HHT uspela ako postigne da se približi svom CILJU na definisano minimalno rastojanje $D_{HHT\text{-}CILJmin}$ u skladu sa vrstom misije: raketni napad na CILJ ili prevoz diverzantskog tima.

## 2.3. Samohodni raketno-artiljerijski sistemi

Na početku simulacije **samohodni artiljerijsko-raketni sistemi** zemlja-vazduh **(**SHRAS) su slučajno raspoređeni, po celoj osnovici CT. Misija SHRAS je da unište HHT pre nego što on dospe na minimalno definisano rastojanje od svog cilja, $D_{HHT\text{-}CILJmin}$.

SHRAS može da lansira rakete u pokretu, u salvama od po 2 rakete istovremeno. Verovatnoća pogađanja HHT pomoću takve salve je:

$$p_s = 1 - (1 - p_m)^2 \tag{1}$$

gde je $p_m$ verovatnoća pogađanja HHT jednom raketom.

SHRAS može da lansira narednu salvu od 2 rakete posle vremena kašnjenja $T_{UP}$.

SHRAS može da napadne HHT i pomoću svojih automatskih topova sa verovatnoćom uspeha $p_g$. To se radi kada je SHRAS na takvom položaju da ne može da pogodi HHT raketama, zbog svog rastojanja i/ili visine, ili zbog neuspeha raketnog napada.

SHRAS primenjuju ofanzivno-defanzivnu taktiku protiv HHT, u dve faze:

- **Rojenje** [5], za vreme koga se usmeravaju ka HHT, da bi mu se približili u zone mogućeg dejstva (ZMD) svojih raketa ili topova;
- **Napad** na HHT svojim raketama ili topovima, u skladu sa ispunjenjem uslova zahtevanih za svaki tip borbenog dejstva.

ZMD za rakete SHRAS definišu:

- Maksimalni/minimalni domet raketa ($R_{Mmax}$, $R_{Mmin}$);
- Maksimalna/minimalna visina za rakete ($A_{Mmax}$, $A_{Mmin}$);
- Maksimalni /minimalni ugao elevacije $\alpha_{Emax}$, $\alpha_{Emin}$.

ZMD za topove SHRAS definišu:

- Maksimalni/minimalni domet topova ($R_{Gmax}$, $R_{Gmin}$);
- Maksimalna/minimalna visina za topove ($A_{Gmax}$, $A_{Gmin}$);

SHRAS može da se kreće maksimalnom brzinom $V_{SHRASmax}$, do dometa kretanja $R_{SHRASmax}$.

SHRAS može da bude u jednom od sledeća 4 načina rada: samostalan sistem (SA), unutar baterije (WB), povezan sa komandnim vozilom (WCP) ili povezan sa spoljašnjim radarom (WCPR).

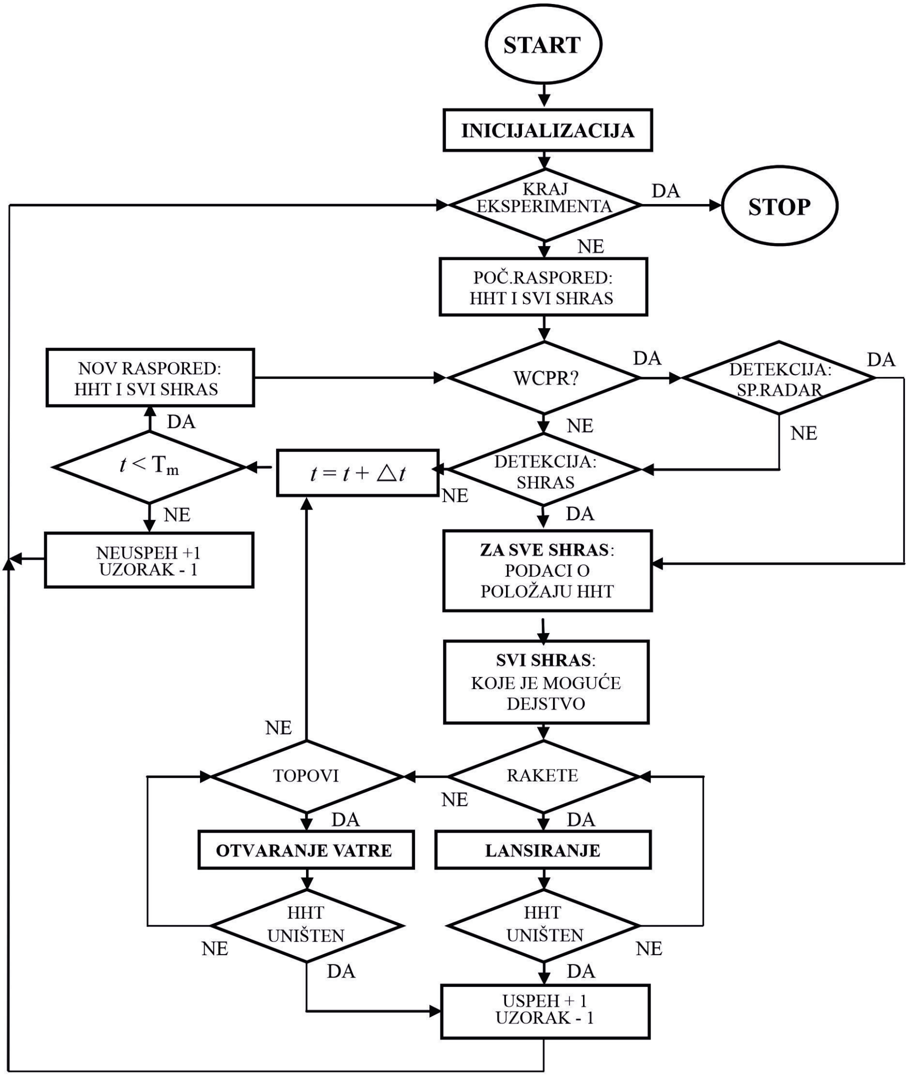
## 2.4. Komandno-informacioni sistem

**Komandno-informacioni sistem** (KIS) obezbeđuje svim SHRAS informacije o trenutnom položaju HHT, kao i o položajima svih SHRAS i drugih delova sistema od interesa.

KIS je implementiran na svakom SHRAS (senzori, računari i sredstva veze) u svim načinima rada SHRAS i dostavlja informacije u svojim osnovnim vremenskim intervalima $\triangle t$. Interval $\triangle t$ je izabran u skladu sa maksimalnom brzinom HHT kao pretnje $V_{HHTmax}$ i željenom preciznošću $P_{KIS}$, definisanom kao maksimalno relativno rastojanje HHT u odnosu na prethodnu poziciju koja se toleriše kao da pomeranja HHT nije ni bilo, a određuje se sledećim izrazom:

$$\Delta t = \frac{P_{KIS}}{V_{HHTmax}} \tag{2}$$

## 3. ALGORITAM REALIZOVANOG SIMULATORA



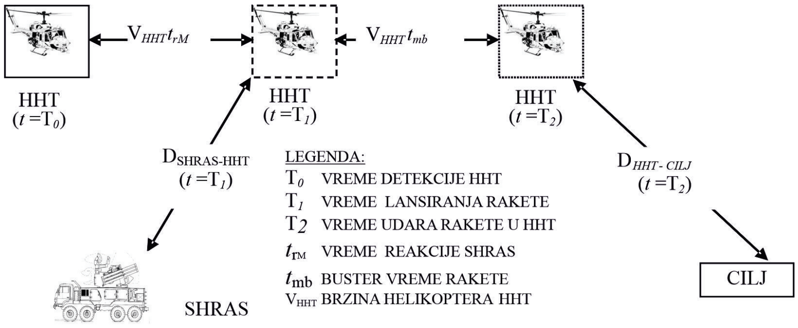
**Slika 1:** Algoritam realizovanog simulatora

Algoritam (**Slika 1**) je detaljno opisan u radu [4]. Suština događanja u simuliranom sistemu je da, ukoliko se HHT detektuje senzorima SHRAS ili spoljašnjim radarom nadređenog sistema protivvazduhoplovne odbrane i njegov otkriveni položaj se prosledi ka svim SHRAS, ispituje se da li neki od njih može da lansira rakete ili da otvori vatru topovima ka HHT.

Scenario lansiranja raketa prikazan je na **Slici 2**. Ono je moguće ako se HHT nalazi u ZMD raketa i u trenutku $t = T_2$ važi nejednakost:

$$D_{HHT-CILJ}(t = T_2) \geq D_{HHT-CILJmin} \qquad (2)$$

gde je $D_{HHT\text{-}CILJmin}$ rastojanje HHT od CILJA koje kvalifikuje misiju HHT kao ispunjenu.



**Slika 2:** Scenario lansiranja raketa SHRAS

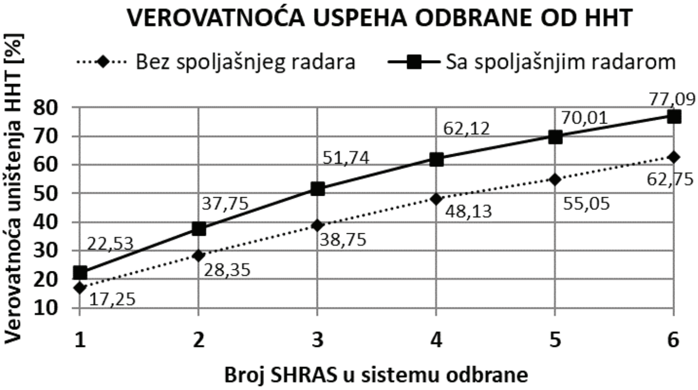
Ako se HHT uništi, raketama ili topovima, brojač uspeha se povećava za 1 (USPEH+1), brojač završenih prolaza se smanjuje za 1 (UZORAK-1) i ispituje se da li je eksperiment završen. Ako jeste, simulator se zaustavlja i dobija se izveštaj, a ako nije simulacija se nastavlja. Ako HHT nije uništen, ni raketama ni topovima, vrednost brojača simuliranog vremena se povećava za jedan osnovni interval KIS, $\triangle t$ , a simulacija se nastavlja.

**Primarna mera performase** u simulaciji jeste verovatnoća uspeha odbrane ćelije teritorije:

$$p_{\mathrm{USPEH}} = \frac{\mathrm{USPEH}}{\mathrm{USPEH+NEUSPEH}} \tag{3}$$

## 4. REZULTATI EKSPERIMENATA

Rezultati 12 eksperimenata, sa vrednostima karakteristika delova sistema iz **Tabele 1**, prikazani su na dijagramu na **Slici 3**. Veličina uzorka je 10000 simulacionih prolaza po eksperimentu.



**Slika 3.:** Rezultati eksperimenata

Cilj eksperimenata bio je da se ispita uticaj broja SHRAS i njihove povezanosti sa spoljašnjim radarom šireg nadređenog sistema protivvazduhoplovne odbrane, na primarnu meru performanse sistema – verovatnoću uspešnosti odbrane od naoružanog helikoptera. S obzirom da se simulira napad HHT kao hibridne pretnje na CILJ u okviru CT, početni raspored svih SHRAS je slučajan, jer oni takav napad ne očekuju i obavljaju svoje druge delatnosti.

Rezultati prvih 6 eksperimenata pokazuju da, ukoliko SHRAS nisu povezani sa spoljašnjim radarom, verovatnoća uspešnosti odbrane CT od HHT kao hibridne pretnje raste sa povećanjem broja SHRAS, od 17.25% do 62.75%.

Rezultati drugih 6 eksperimenata pokazuju da, ukoliko su SHRAS povezani sa spoljašnjim radarom, u svakom od njih postiže se veća verovatnoća uspešnosti odbrane od odgovarajućeg eksperimenta iz prve grupe i kreće se od 22.53% do 77.09%.

S obzirom na veličinu branjene ćelije teritorije (osnovice 100 km x 100 km) i na činjenicu da su SHRAS samohodni protivvazduhoplovni sistemi relativno kratkog dometa, može se zaključiti da je bitno da oni budu povezani sa spoljašnjim sistemom većeg dometa, koji bi im omogućio da blagovremeno budu obavešteni o pojavi pretnje, već na ivici ćelije teritorije, kako bi što pre krenuli ka njoj, sve dok je ne otkriju i ne zahvate sopstvenim senzorima.

Ukoliko takve povezanosti sa spoljašnjim nadređenim sistemom nema, trebalo bi ispitati mogućnosti odbrane u slučaju ostavljanja 1 SHRAS u neposrednoj blizini CILJA koji se brani, dok bi preostali SHRAS mogli da se slučajno rasporede po osnovici CT, u cilju obavljanja drugih delatnosti, do trenutka kada neki od njih otkrije HHT i dojavi njegovu poziciju ostalim SHRAS.

## 5. ZAKLJUČAK

Realizovana je softverska simulacija sukoba samohodnih raketno-artiljerijskih sistema i naoružanog helikoptera kao hibridne pretnje cilju koji se nalazi unutar trodimenzionalne ćelije teritorije.

Izvršeni su eksperimenti radi ispitivanja uticaja broja takvih sistema i njhove povezanosti sa spoljašnjim radarom nadređenog sistema protivvazduhoplovne odbrane na verovatnoću uspešne odbrane cilja helikoptera unutar trodimenzionalne ćelije teritorije.

Rezultati eksperimenata pokazuju da je takav sistem odbrane uspešniji ako postoji veza sa spoljašnjim radarom, kako bi odbrambeni samohodni raketno-artiljerijski sistemi što je moguće pre došli do podataka o pojavi naoružanog helikoptera kao hibridne pretnje.

To znači da razmatrani samohodni raketno-artiljerijski sistemi, iako velike vatrene moći i efikasnosti uništenja ciljeva u vazduhu, s obzirom na dimenzije branjene teritorije i relativno kraći domet sopstvenih senzora, treba da budu uključeni u širi sistem protivvazduhoplovne odbrane, radi njihovog blagovremenog usmeravanja prema hibridnoj pretnji.

## LITERATURA

[1] Murray, W., Mansoor, P. (2012). Hybrid Warfare: Fighting Complex Opponents from the Ancient World to the Present. *Cambridge University Press*, *New York.*

[2] Grimsrud, K. (2018). Moving into the Future: Allied Mobility in a Modern Hybrid Warfare Operational Environment. *School of Advanced Military Studies, US Army Command and General Staff College Fort Leavenworth, KS.*

[3] De Durand, E., Michel, B., Tenenbaum, E. (2011). La guerre des hélicoptères. L'avenir de l'aéro-mobilité et de l'aérocombat. Multiple criteria decision aiding as a prediction tool for migration potential of regions. *Focus stratégique*, n° 32, juin 2011.

[4] Janković, R., Milinović, M. (2022). Simulation model of territory cell defence against helicopter as a hybrid threat. *Proceedings of the 10th International Conference on Defensive Technologies (OTEH 2022), Belgrade*, *Serbia*, 80-85.

[5] Edwards, S.J.A. (2005). Swarming and the future of warfare, *Rand Corporation*, 2005.

[6] Minuteman Software, GPSS World. http://www.minutemansoftware.com/simulation.htm

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# РЕЛАТИВНА ВАЖНОСТ КРИТЕРИЈУМА ПРИ ЕВАЛУАЦИЈИ СПОСОБНОСТИ ВОЈНИХ ВОЗАЧА ЗА БЕЗБЕДНУ ВОЖЊУ

# RELATIVE IMPORTANCE OF CRITERIA IN THE EVALUATION OF MILITARY DRIVERS

САЊА ТОМИЋ[1], АЛЕКСАНДАР ЗЛАТАНОВИЋ[2]

[1] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, sanjcextomic@gmail.com
[2] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, acazlatkoo@gmail.com

---

***Резиме:*** *У овом раду је извршена квантификација релативних тежина критеријума евалуације војних возача за безбедну вожњу. Квантификација релативне важности критеријума извршена је помоћу Аналитичког хијерархијског процеса – АХП, а на основу ставова 11 командира који су у хијерархији војне организације непосредно надређени возачима и који свакодневно прате и евалуирају способности возача за безбедну вожњу.*

***Кључне речи:*** *Аналитички хијерархијски процес, војни возач, евалуација, релативни значај критеријума*

***Abstract:*** *In this paper, the relative weights of the evaluation criteria of military drivers for safe driving were quantified. The quantification of the relative importance of the criteria was carried out using the Analytical Hierarchy Process - AHP, and based on the views of 11 commanders who are directly superior to drivers in the hierarchy of the military organization and who monitor and evaluate drivers' abilities for safe driving on a daily basis.*

***Keywords:*** *Analytical Hierarchy Process, military driver, evaluation, relative weight of criteria*

---

## 1. УВОД

У сваком пословном систему постоји одређена методологија евалуације рада или способности запослених. Мотиви евалуације су бројни и различити, а најчешћи су [1]:

- утврђивање основа за надокнаду за радни допринос (плату или повишицу),
- унапређење, премештање, отпуштање и сл. (зависно од вредности оцене рада),
- идентификовање потреба за обуком кадрова,
- информисање запослених о њиховој успешности, радном учинку итд.

За потребе евалуације запослених користе се бројне методе, у зависности од делатности и радног места. Начелно, свака евалуација кадрова садржи три основне активности [3]:

- одређивање критеријума за евалуацију,
- евидентирање радних карактеристика, резултата рада и сл. и
- квантификација радних способности, радног учинка (формулисање оцене).

Резултати евалуације кадрова и њиховог радног учинка у великој мери зависе од усвојене методологије евалуације и примењених метода оцењивања. Ипак објективност евалуације и поузданост добијених резултата, примарно зависе од избора адекватних критеријума и правилног одређивања њихове релативне важности у односу на циљ евалуације.

Када је реч о евалуацији војних возача, чији су радни задаци и захтеване способности свакако специфични у односу на возаче који раде у цивилним структурама, један од основних проблема евалуације јесте селекција и објективно вредновање кључних индикатора перформанси возача. Њиховим правилним избором обезбеђује се уважавање специфичности услова рада у војној организацији, односно њиховог утицаја на војног возача, а бенефити аналитичког приступа евалуацији возача су уштеде новца, времена и осталих ресурса у селекцији, обуци, раду и оцењивању радног учинка војних возача.

У овом раду приказан је поступак одређивања релативне важности критеријума евалуације способности војних возача за безбедну вожњу. У ту сврху употребљена је метода Аналитичког хијерархијског процеса (AHP), а све са циљем добијања тежинских вредности за скуп изабраних критеријума евалуације способности војних возача, што представља основу за унапређење процеса обуке, али и вредновања рада војних возача, што се у крајњем одражава на безбедност и поузданост извршавања радних задатака.

## 2. ЕВАЛУАЦИЈА ВОЈНИХ ВОЗАЧА И ЊЕНА УЛОГА У ВОЈСЦИ

Према Закону о безбедности саобраћаја на путевима, професионални возачи су возачи којима је управљање возилом основно занимање и то док управљају скупом возила категорија C, C1, D, D1. CE, C1E, DE или D1E, и који за обављање свог посла морају имати стечену почетну квалификацију, односно успешно завршену периодичну обуку [2]. Ипак, војни возачи су изузети из овог закона и пракси ВС је ближи појам возача војног возила, него појам војног возача. У складу са Правилником о безбедности војних учесника у саобраћају на путевима, у овом раду се под појмом војни возач посматрају само возачи војних возила који су у МО и ВС постављени, односно распоређени, на дужност возач или инструктор вожње. У том смислу возачи војних возила, могу бити припадници ВС тј. могу бити војна лица (најчешће војници по уговору или војници на служењу војног рока тзв. војници - возачи) и цивилна лица (војни службеници и намештеници), који испуњавају услове предвиђене важећим прописима у МО и ВС.

Приликом процене перформанси војних лица у улози возача у обзир се узимају следећи елементи [4]:

- Реализација задатака
- Квалитет рада
- Професионална ефикасност
- Поштовање стандарда и норми
- Одговорност
- Самосталност
- Предузимљивост
- Физичка способност

Ово је скуп перформанси возача војног возила које се користе примарно за оцену његовог радног учинка, и треба их посматрати у светлу фактора који могу да утичу на возача током извршења задатка, а који су специфични за рад у војсци. Ти фактори могу се јавити у току спровођења радних задатака и подразумевају:

- Висок ниво стреса и ризика од повреда или чак постојање животне опасности, првенствено ако се превозе опасне материје, наоружање, муниција или друга средства која могу бити опасна по живот људи, а нарочито током вршења транспорта људи и средстава за време борбених дејстава;
- Рад у екстремним условима, који су за војни систем свакодневна појава, а при којима возач мора да буде физички и психички спреман да ради на повишеним, као и на сниженим температурама, које изазивају ризик од дехидратације, хипотермије и сл., затим у лошим временским условима, на неуређеним теренима, у условима повећане буке и вибрација и сл. Све то захтева повећане физичке напоре и доводи до исцрпљености. При томе возач све време током реализације задатка, не само са мора имати контролу над возилом, већ мора бити и спреман да правовремено реагује и прихвати и евентуалну борбу са непријатељем;
- Координацију са војним особљем и садејство у смислу подршке у војним операцијама или одржавања комуникације путем радио везе (тзв. multitasking) итд.

Може се закључити да је главни разлог за вршење евалуације војних возача по пажљиво одабраним критеријумима у ствари важност транспортних задатака који се морају реализовати у надлежности система одбране. Значај процеса огледа се у тесној повезаности између евалуације и њених резултата и дотадашњег рада, али и „гаранције" успешности рада који тек треба бити извршен од стране кадра изабраног помоћу исхода евалуације и то неометано и упркос свим факторима који могу утицати на возаче, а који су карактеристични за рад у специфичним условима у војној средини.

Приликом оцене цивилних лица у улози возача војних моторних возила, систем оцењивања разликује се од система оцењивања војних лица – возача, а нешто другачији су и елементи који се оцењују [4]:

- постигнути резултати
- самосталност у раду
- предузимљивост у раду
- стваралачка способност и инвентивност у раду
- савесност и прецизност у раду
- спремност за тимски рад и квалитет сарадње
- остале способности.

У оба случаја, примарни циљ евалуације је оцена радног учинка возача и процену перформанси врши возачев непосредно надређени, што често може бити веома субјективно.

Ради објективне евалуације и једних и других возача, али и ради њиховог рангирања и избора за задатак и друге активности, корисно је вредновати не само њихов радни учинак, већ и способности за безбедну вожњу. Евалуација са таквим циљем мора се спровести користећи другачије критеријуме.

## 3. ИЗБОР КРИТЕРИЈУМА ЗА ЕВАЛУАЦИЈУ СПОСОБНОСТИ ВОЈНИХ ВОЗАЧА ЗА БЕЗБЕДНУ ВОЖЊУ

Од циљева евалуације возача зависе и критеријуми на основу којих ће се она вршити. По питању способности за безбедну вожњу, у стручној литератури се може срести широка палета критеријума.

За потребе евалуације способности војних возача, спроведено је кратко истраживање међу старешинама транспортних јединица у ВС (11 командира). Наиме, од сета критеријума систематизованих у [7] и сета критеријума који се користе у пракси евалуације способности возача у једном броју транспортних предузећа у друштву [6], формиран је јединствен списак критеријума и у форми анкете понуђен изабраном узорку, старешинама, да селектују и међусобно евалуирају важне способности из аспекта доприноса безбедној вожњи. Након обраде резултата анкете, формиран је скуп критеријума који су класификовани у три групе (слика 1).

С обзиром на хијерархијску структуру критеријума евалуације, као погодан метод евалуације изабран је Аналитички хијерархијски процес (АХП). АХП је метод за подршку процесу доношења одлука који се заснива на формирању хијерархије проблема и специфичној процедури за вредновање елемената по нивоима хијерархије, док се у коначној синтези не утврде тежине свих елемената на најнижем нивоу у односу на елемент на највишем нивоу (глобални циљ) [5].

**Слика 1:** Хијерархијска структура критеријума евалуације способности возача

У складу са процедуром примене АХП методе, након формирања структуре проблема извршено је поређење критеријума у паровима и по нивоима хијерархије проблема евалуације. Поређење је извршено нумеричким оценама према Сатијевој скали (Табела 1).

**Табела 1:** Сатијева (Saaty) фундаментална скала

| **Вербална оцена** | **Нумеричка оцена** |
|---|---|
| Једнаке важности | 1 |
| Слаба доминација | 3 |
| Јака доминација | 5 |
| Демонстрирана доминација | 7 |
| Апсолутна доминација | 9 |
| Међувредности | 2,4,6,8 |

Нумеричке оцене поређења парова елемената на датом нивоу хијерархије унете су у матрице поређења. Из локалних матрица екстрахован је вектор сопствених вредности математичким путем. Сви локални вектори су на крају синтетизовани у коначни вектор тежина критеријума у односу на циљ евалуације. Матрице поређења критеријума по нивоима хијерархије су приказане у табелама 2, 3, 4 и 5:

**Табела 2:** Критеријуми

| Критеријум | **К1** | **К2** | **К3** |
|---|---|---|---|
| **К1** | 1 | 1 | 3 |
| **К2** | 1 | 1 | 3 |
| **К3** | 1/3 | 1/3 | 1 |

**Табела 3:** Психичке способности

| Алтернатива | **А1** | **А2** | **А3** | **А4** |
|---|---|---|---|---|
| **А1** | 1 | 1/2 | 3 | 2 |
| **А2** | 2 | 1 | 3 | 3 |
| **А3** | 1/3 | 1/3 | 1 | 1/3 |
| **А4** | 1/2 | 1/3 | 3 | 1 |

**Табела 4:** Физичке способности

| Алтернатива | **А1** | **А2** | **А3** |
|---|---|---|---|
| **А1** | 1 | 1/4 | 1/7 |
| **А2** | 4 | 1 | 1/5 |
| **А3** | 7 | 5 | 1 |

**Табела 5:** Ставови и склоности

| Алтернатива | **А1** | **А2** | **А3** | **А4** | **А5** |
|---|---|---|---|---|---|
| **А1** | 1 | 1/3 | 7 | 1 | 1/5 |
| **А2** | 3 | 1 | 8 | 7 | 2 |
| **А3** | 1/7 | 1/8 | 1 | 1/7 | 1/7 |
| **А4** | 1 | 1/7 | 7 | 1 | 1/5 |
| **А5** | 5 | 1/2 | 7 | 5 | 1 |

На основу вектора сопствених вредности, након нормализације вредности, за сваки критеријум је израчуната вредност која представља његову релативну тежину у односу на остале критеријуме и на циљ евалуације, што је приказано у табелама 6, 7, 8 и 9.

**Табела 6:** Релативне тежине критеријума хијерархије

| **Критеријуми** | **Релативна тежина критеријума** |
|---|---|
| Психичке способности | 0,429 |
| Физичке способности | 0,429 |
| Ставови и склоности | 0,142 |

**Табела 7:** Релативне тежине алтернатива поређених по паровима везано за психичке способности возача

| **Психичке способности** | **Релативна тежина алтернатива** |
|---|---|
| Ментална стабилност | 0,247 |
| Концентрација | 0,409 |
| Логичко резоновање | 0.187 |
| Толеранција на стрес | 0,157 |

**Табела 8:** Релативне тежине алтернатива поређених по паровима везано за физичке способности возача

| **Физичке способности** | **Релативна тежина алтернатива** |
|---|---|
| Моторика | 0,251 |
| Брзина реакције | 0,161 |
| Перцептивне способности | 0.588 |

**Табела 9:** Релативне тежине алтернатива поређених по паровима везано за ставове и склоности возача

| **Ставови и склоности** | **Релативна тежина алтернатива** |
|---|---|
| Агресивност | 0,124 |
| Самоконтрола и савесност | 0,394 |
| Спремност ка преузимању ризика | 0,057 |
| Склоност ка непредвидивом понашању | 0,105 |
| Осећање одговорности | 0,320 |

Према резултатима истраживања, евидентно је да командири транспортних јединица у Војсци Србије подједнако вреднују психичке и физичке способности војних возача, али и да их вреднују значајно више него склоности и ставове који војни возачи имају и испољавају. Из аспекта безбедности саобраћаја, овакав приступ може бити и проблем, јер ставови и склоности возача често имају каталитички карактер у стварању услова за саобраћајну незгоду. Постоји могућност да је овакав приступ командирског кадра условљен недостатком војних возача (недовољном попуњеношћу јединица војним возачима), па се у суженом избору више вреднују способности којима возач располаже, него ставови и склоности. Ипак, оваква теза би морала бити предмет даљих и подробнијих истраживања. Са друге стране, ако се погледа унутар ових група критеријума, међу психичким карактеристикама војних возача највише се вреднује способност концентрације, а најмање толеранција на стрес, што опет кореспондира претходно наведеној тези. Међу физичким способностима, највише се вреднују перцептивне способности, а најмање брзина реакције, што је и разумљиво с обзиром да сви војни возачи редовно реализују здравствене прегледе, те не би ни били у војној служби да немају задовољавајућу брзину реакције. И међу трећом категоријом критеријума (склоности и ставови), највише се цени самоконтрола и савесност, а најмање спремност ка преузимању ризика. Ове две карактеристике не морају, нужно бити супротстављене. Наиме, од војног возача се и очекује одређена доза спремности на преузимање ризика у саобраћају, али само у специфичним ситуацијама, док су савесно управљање возилом и самоконтрола пожељни ради „спутавања" таквог понашања у уобичајеним, свакодневним ситуацијама.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Када се добро користи, процена перформанси запослених може бити моћан алат који организација поседује како би обезбедила остваривање стратешких циљева, усмерила енергију чланова организације на остварење своје мисије и поткрепила значај да сви раде у складу са визијом и вредностима организације. Када се ради о возачима и процени њихових способности из аспекта безбедности саобраћаја, та процена нема стратешки карактер, али је важан предуслов успешног функционисања. Она је први корак у превентиви саобраћајних незгода, које могу имати последице великих размера. Критеријуми евалуације возача тј. њихових способности за безбедну вожњу, као и њихове релативне тежине добијене оваквим вишекритеријумским приступом могу се користити у бројним ситуацијама, нпр. приликом избора војних возача за неки специфичан задатак, приликом периодичног оцењивања војних возача и др. На овај начин се командирима омогућава већа објективност у одлучивању, а организацији се обезбеђује већи ниво безбедности у саобраћају.

## ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је проистекао из научноистраживачког пројекта ВА-ТТ/2/20-25 који финансира Министарство одбране Републике Србије.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Вешовић, В. (2003). *Менаџмент у саобраћају*, Саобраћајни факултет, Београд.

[2] Закон о безбедности саобраћаја на путевима, Службени гласник РС, 2020.

[3] Јовановић, П. (1996). *Менаџмент – теорија и пракса*, Графослог, Београд.

[4] Луковац, В. (2016). Модел за отклањање грешака у систему процене перформанси возача војних моторних возила, докторска дисертација, Универзитет одбране, Београд.

[5] Srdjevic, B, Srdjevic, Z. (2013). Synthesis of individual best local priority vectors in AHP-group decision making, *Applied Soft Computing*, 13, 2045–2056.

[6] https://amss-cmv.co.rs/provera-znanja-i-vestina/ (09.05.2023.)

[7] Чубранић-Добролац, М., Јовчић, С., Бошковић, С., Бабић, Д., (2023). A Decision-Making Model for Professional Drivers Selection: A Hybridized Fuzzy-AROMAN-Fuller Approach, *Mathematics,* 11 (13), 2831, https://doi.org/10.3390/math11132831.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ОДРЕЂИВАЊЕ ЕФИКАСНОСТИ БОРБЕНИХ СНАГА У ОПЕРАЦИЈИ ПРИМЕНОМ ОПЕРАЦИОНИХ ИСТРАЖИВАЊА

# DETERMINING THE EFFECTIVENESS OF COMBAT FORCES IN OPERATION USING OPERATIONAL RESEARCH

САША М. ДЕВЕТАК[1], ВЛАДИМИР В. ШЕПЕЦ

[1] Војна академија Универзитета одбране, Београд, sasa.devetak@va.mod.gov.rs

---

***Резиме:*** *У раду је приказан један приступ у одређивању ефикасности борбених снага у војној операцији применом метода операционих истраживања. Циљ рада је да се применом математичких модела одреди ефикасност борбених снага у борбеним дејствима. Представљен је општи опис проблема моделовања борбених снага, у раду пешадијских јединица и начин одређивања њихове ефикасности у операцији. Примењено је математичко очекивање и теорија масовног опслуживања и презентовано решавање проблема на нумеричком примеру.*

***Кључне речи:*** *Математичко очекивање, теорија масовног опслуживања, ефикасност борбених снага, операција.*

***Abstract:*** *The paper presents one approach in determining the effectiveness of combat forces in a military operation using operational research methods. The goal of the work is to determine the effectiveness of combat forces in combat operations by applying mathematical models. A general description of the problem of modelling combat forces, in the work of infantry units, and the way of determining their effectiveness in the operation is presented. Mathematical expectation and the Queueing theory were applied and problem solving was presented using a numerical example.*

***Keywords:*** *Mathematical expectation, queueing theory, effectiveness of combat forces, operation.*

---

## 1. УВОД

Доктрином Војске Србије појмовно су дефинисане војне операције, њихова класификација и карактерijстике. У односу на вид борбених дејстава изводе се нападне и одбрамбене операције. Основи циљ операција је поред заузимања или одбране одређеног простора и наношење што већих губитака непријатељу у живој сили и борбеним средствима уз истовремену заштиту сопствених снага и што мање губитке. У операцијама се функционално одређују снаге за командовање, борбене снаге, снаге за подршку и снаге за обезбеђења [1]. Основу борбених снага чине пешадија, механизоване и тенковске јединице и од њихове ефикасности круцијално зависи успех борбених дејстава и остварење циља у нападној или одбрамбеној операцији. Управо оптимизација губитака на једној и другој страни у борбеним дејствима је основ ефикасности снага у операцији.

Ефикасност борбених снага у војним операцијама најчешће је у теоријским разматрањима приказивана борбеним могућностима јединица родова и служби Војске. Борбене могућности јединица различитих родова и служби Војске Србије (ВС) дефинисане су одређеним Упутством [5]. Циљ одређивања борбених могућности је решавање теоријских и практичних проблема процене снага у борбеним дејствима и кроз квантитативне показатеље што презцизније одређивање учинка борбених система у борбеним дејствима. У досадашњој теорији и пракси изграђивани су различити приступи и методике одређивања борбених и ватрених могућности у зависности од дефинисаних категоријалних појмова, параметара, критеријума и ефеката борбених система у борбеним дејствима [4].

У циљу сагледавања динамике борбених дејстава потребно је размотрити како одредити ефикасност снага у борби. У раду се пошло од хипотетичког става да применом квантитативних метода и адекватних модела математичког очекивања и теорије масовног опслуживања може се одредити ефикасност пешадијских јединица у борби. Представљен је аналитички модел за процену ефикасности пешадијских јединица у борби и кроз пример пешадијског вода који изводи напад и одбрану у дефинисаним борбеним, просторним и временским условима описана динамика борбених дејстава и тестиран модел. Применом приказаних аналитичких модела могу се разматрати и друге снаге које учествују у дејствима (тенковске, артиљеријске, артиљеријско-ракетне и друге). Значај овог рада огледа се у чињеници да омогућава квантитативну процену ефикасности и губитака како сопствених снага тако и непријатеља, односно омогућава квалитетније моделовање и решавање тактичких задатака и процену ситуације у реалним условима [2].

## 2. АНАЛИТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ПРОЦЕНУ ЕФИКАСНОСТИ БОРБЕНИХ СНАГА

Предмет рада је представљање једног приступа решавања конкретног проблема процене ефикасности борбених снага, односно пешадијских јединица у војној операцији. У раду је примењена теорија вероватноће кроз математичко очекивање и теорија масовног опслуживања, као једна од метода операционих истраживања [6]. Изабрани критеријуми оптималности су вероватноћа успешног уништења непријатеља, број нанесених губитака непријатељу и сопствених губитака и рационалност употребе сопствених снага.

*Средњи број (матемаичко очекивање*) уништене живе силе непријатеља можемо рачунати према следећем математичком моделу [3]:

$$N_u = N \cdot \left[ 1 - \left( 1 - e^{-\frac{n_u}{n}} \cdot p_m \cdot p_u \right)^{\frac{n}{N}} \right] \tag{1}$$

Где је:

- $N_u$ – средњи број уништених непријатеља (избачен из сторја – убијен, рањен).
- N – укупан број непријатеља.
- $n_u$ – број губитака сопствених снага.
- n – укупан број сопствених снага.
- $p_m$ – вероватноћа погађања (колико циљева је погођено од укупног броја циљева), а изражава обученост људства у гађању (статистички се може прикупити на гађањима пешадијских јединица).
- $p_u$ – вероватноћа уништења непријатеља, која се рачуна према изразу (претпоставимо да се догађаји - појављивање циљева остварују по Пуасоновом закону) [3]:

$$p_u = 1 - \frac{\frac{\alpha^n}{n!} \cdot \frac{1}{{p_{ot}}^n}}{\sum_{k=0}^{n} \frac{\alpha^k}{k!} \cdot \frac{1}{{p_{ot}}^k}} \tag{2}$$

Где је:

- pot – вероватноћа откривања непријатеља (колико се циљева открије од укупног броја циљева).
- коефицијент α=N/ tg – где је (N) укупан број непријатеља, а (tg) време трајања сопствене ватре (број секунди сопствене ватре).
- k – број активних сопствених снага.

Адекватно прорачуну средњег броја уништене живе силе непријатеља може се израчунати средњи број губитака сопствених снага применом математичког изараза [3]:

$$n_u = n \cdot \left[ 1 - \left( 1 - e^{-\frac{N_u}{N}} \cdot p_{mp} \cdot p_{un} \right)^{\frac{N}{n}} \right] \tag{3}$$

Где је:

- nu – средњи број губитака сопствених снага.
- n – укупан број сопствених снага.
- Nu – средњи број уништених непријатеља.
- N – укупан број непријатеља.
- pmp – вероватноћа којом непријатељ погађа наше снаге.
- pun – вероватноћа уништења сопствених снага, која се израчунава према следећем математичком изразу (догађаји се одвијају према Пуасоновом закону) [3]:

$$p_{un} = 1 - \frac{\dfrac{\rho^N}{N!} \cdot \dfrac{1}{p_{otn}{}^N}}{\sum\limits_{k=0}^{N} \dfrac{\rho^k}{k!} \cdot \dfrac{1}{p_{otn}{}^k}} \tag{4}$$

Где је:

- potn – вероватноћа откривања наших снага.
- коефицијент ρ=n/ tgn – где је (n) укупан број сопствених снага, а (tgn) време трајања непријатељеве ватре (број секунди непријатељеве ватре).
- k – број активних непријатељских снага.

Важно је напоменути да вероватноће уништења, изрази (2) и (4), представљају вероватноће да ће се по циљу дејствовати, односно да ће циљ бити откривен и гађан.

Укупна ефикасност сопствених снага, може се апроксимирати математичком релацијом (5), ако је ефикасност појединачних јединица једнака проценту средњег броја уништених непријатеља E= $N_u$ (%):

$$E = 1 - (1 - E_1) \cdot (1 - E_2) \cdot (1 - E_3) \cdot (1 - E_n) \tag{5}$$

Где је:

- E – укупна ефикасност одређене сопствене јединице пешадије (вод, чета, батаљон).
- E1-n – ефикасност њених потчињених јединица пешадије (одељење, вод, чета).

Ефикасност пешадијских јединица или привремених састава које у свом саставу имају јединице или средстава за ватрену подршку, противоклопна или противваздухопловна дејства може се одредити изразом [3]:

$$E = 1 - (1 - E_1) \cdot (1 - E_2) \cdot (1 - E_3) \cdot (1 - E_{vp}) \cdot (1 - E_{pod}) \cdot (1 - E_{pvd}) \tag{6}$$

Где је:

- E – ефикасност ојачане пешадијске јединице или приврменог састава јединицом ватрене подршке, јединицом за противоклопна дејства и јединицом за противваздухопловна дејства.
- E1-3 – ефикасност потчињених јединица пешадије (одељење, вод, чета).
- Evp – ефикасност јединица ватрене подршке.
- Epod – ефикасност јединице за противоклопна дејства.
- Epvd – ефикасност јединице за противваздухопловна дејства.

Ради бржег и ефикаснијег израчунавања параметара математичких релација (1) и (3) израђен је програм (калкулатор) на рачунару за математичко очекивање који омогућава израчунавање средњег броја уништене непријатељеве живе силе, али и средњег броја губитака сопствених снага.

## 3. ТЕСТИРАЊЕ МОДЕЛА И АНАЛИЗА ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА

Тестирање и анализа описане методе може се извршити уз претходно моделовање тактичког задатка у коме је неопходно поставити тактичку супозицију, односно одредити величине јединица и вид борбених дејстава. У раду је разматран пешадијски вод у одбрани и нападу.

Надаље је дефинисано да се борбена дејства одвијају на тешко проходном земљишту, делимично пошумљеном, ноћу и у повољним метео условима. Обе стране наоружане су аутоматским пушкама, која може да испали 10 метака у секунди, а располажу и основним средствима за ноћно осматрање. Борбена дејства се изводе на даљинама од 200 метара до 400 метара, где је пешадијско наоружање најефикасније. Временски интервал у коме се посматрају и анализирају борбена дејства је 30 минута. То је време у коме се може у кратким скоковима савладати простор од 400 метара, а зависно од нанетих губитака непријатељу, напад ће бити успешан или одбијен. У табелама 1 и 2 приказани су параметри потребни за тестирање модела када пешадијски вод изводи одбрану и у напад.

У анализи модела где се пешадијски вод налази у одбрани, ширине фронта 600 метара постављен је однос снага 1:2,5 до 1:5 за нападача (табела 1). Претпоставимо да се вероватноћа откривања непријатеља ($p_{ot}$) креће у границама од 0,2 до 0,5, јер је непријатељ у нападу, а да је вероватноћа погађања ($p_m$) у опсегу од 0,5 до 0,8, односно да су сопствене снаге одлично оспособљене за гађање уочених циљева ноћу. Сопствене снаге користе јединачну ватру и кратке рафале ради боље прецизности и дужина трајања сопствене ватре ватре ($t_g$) креће се у границама од 2 до 10 секунди. Користећи наведене вредности и математички израз (2) може се израчунати коефицијент $\alpha$, а затим и вероватноћа уништења непријатеља ($p_u$), која се креће у границама од 0,3 до 0,85. Уношењем улазних података у математички израз (1) одређује се средњи број губитака непријатеља. Резултати у табели 1 показују када ће непријатељ имати највеће губитке када су вероватноће уништења и погађања непријатеља велике (табела 1, врста 6: $p_u$=0,85, $p_m$=0,8 и $N_u$=22). Последњи примери у табели 1 показују утицај губитака сопствених снага на смањење губитака непријатеља. Губитке сопствених снага могу се одредити коришћењем математичких израза (3) и (4). У одбрани је могуће смањити губитке сопствених снага наношењем што већих губитака непријатељу или смањењем вероватноће откривања, што се може постићи маскирањем и инжињеријским уређењем рејона одбране. Број испаљених метака може послужити за израчунавање количине муниције потребне за неутралисање једног војника. Пример у табели 1, врста 1: испаљено је 960 метака на 60 војника, односно 16 метака на једног војника. Неутралисано је 4 војника, односно за неутралисање једног непријатељског војника било је потребно 240 метака. У врсти 6 број метака по једном војнику је 55. Анализа утрошка муниције показује да ће у савременим ратовима бити потребно више метака за неутралисање једног непријатељског војника због квалитетније заштите војника.

**Табела 1:** Прорачун **губитака непријатеља** када пешадијски вод изводи одбрану

| Сопствене снаге (n) | Снаге непријатеља (N) | Вероватноћа откривања непријатеља ($p_{ot}$) | Трајање сопствене ватре ($t_g$ (s)) | Вероватноћа уништења непријатеља ($p_u$) | Вероватноћа погађања ($p_m$) | Број испаљених метака ($t_g \cdot 10 \cdot n$) | Сопствени губици ($n_u$) | Губици нерпијатеља ($N_u$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 60 | 0,2 | 4 | 0,3 | 0,5 | 960 | 0 | 4 |
| 24 | 60 | 0,2 | 4 | 0,3 | 0,6 | 960 | 0 | 5 |
| 24 | 60 | 0,2 | 5 | 0,4 | 0,6 | 1200 | 0 | 6 |
| 24 | 60 | 0,2 | 10 | 0,73 | 0,6 | 2400 | 0 | 12 |
| 24 | 60 | 0,5 | 4 | 0,73 | 0,8 | 960 | 0 | 18 |
| 24 | 60 | 0,5 | 5 | 0,85 | 0,8 | 1200 | 0 | 22 |
| 18 | 60 | 0,5 | 5 | 0,7 | 0,8 | 900 | 6 | 8 |
| 12 | 60 | 0,5 | 10 | 0,8 | 0,8 | 1200 | 12 | 3 |

У табели 2 приказана је анализа модела када пешадијски вод изводи нападну операцију на фронту ширине 250 метара. Анализиран је однос снага 2:1 за нападача. Из табеле 2 се може уочити да ће се непријатељу нанети највећи губитци у нападу када су вероватноћа откривања, уништења и погађања непријатеља највећи (табела 2, врста 4: $p_{ot}$=0,2, $p_u$=0,99, $p_m$=0,3 а $N_u$=6). Губици сопствених снага у нападу такође зависе од губитака које ће се нанети непријатељу, али и од вероватноће откривања сопствених снага и трајања непријатељеве ватре, јер је тада вероватноћа уништења сопствених снага највећа. Вероватноћа откривања непријатељских снага је у границама од 0,1 до 0,2 јер се ради о откривању снага у одбрани, које су заклоњене или утврђене и добро маскиране, па је и вероватноћа погађања таквих снага знатно мања (процењене вредности су од 0,2 до 0,3). Анализа показује значај вероватноће откривања непријатеља, посебно у условима слабе видљивости, значај средстава за ноћно осматрање и радара за откривање живе силе. Вероватноћа погађања зависи од обучености људства, организације система ватре, а трајање сопствене ватре мора бити усаглашено са величином борбеног комплета оружја.

**Табела 2:** Прорачун **губитака непријатеља** када пешадијски вод изводи напад

| Сопствене снаге (n) | Снаге непријатеља (N) | Вероватноћа откривања непријатеља ($p_{ot}$) | Трајање сопствене ватре ($t_g$ (s)) | Вероватноћа уништења непријатеља ($p_u$) | Вероватноћа погађања ($p_m$) | Број испаљених метака ($t_g \cdot 10 \cdot n$) | Сопствени губици ($n_u$) | Губици нерпијатеља ($N_u$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 12 | 0,1 | 4 | 0,73 | 0,2 | 960 | 0 | 3 |
| 24 | 12 | 0,1 | 4 | 0,73 | 0,3 | 960 | 0 | 5 |
| 24 | 12 | 0,1 | 6 | 0,93 | 0,3 | 1440 | 0 | 6 |
| 24 | 12 | 0,2 | 4 | 0,99 | 0,3 | 960 | 0 | 6 |
| 18 | 12 | 0,1 | 4 | 0,56 | 0,2 | 720 | 6 | 1 |

Анализом у приказаном моделу и применом математичких израза (5) и (6) може се одредити ефикасност пешадијске јединице (и других борбених снага) у операцији. У наведеним примерима пешадијски вод је остварио ефикасност од 37% у одбрани ($N$=60, $N_u$=22) и 50% у нападу ($N$=12, $N_u$=6).

## 4. ЗАКЉУЧАК

Ефикасност борбених снага условљена је остварењем циља, односно наношењем што већих губитака непријатељу у живој сили и борбеним средствима у борбеним дејствима.

Предмет рада била је примена математичког модела у одређивању ефикасности борбених снага – пешадијских јединица или привремених састава у нападним и одбрамбеним операцијама. Значај рада се огледа у могућности решавања теоријских и практичних проблема процене снага и одређивања учинка борбених снага у борбеним дејствима применом квантитативних метода операционих истраживања.

Применом математичког очекивања и теорије масовног опслуживања у одређивању средњег броја губитака непријатељских и сопствених снага може се егзактно показати како на проценат губитака у живој сили утичу однос снага, вероватноћа откривања циљева (живе силе), вероватноће погађања и организација система ватре, вероватноћа уништавања живе силе и други релевантни фактори. На приказаним примерима може се сагледати објективност и реалност добијених резултата. Променом улазних варијабли и анализом добијених резултата може се квалитетније одредити најбоља варијанта употребе борбених снага различитог састава у одбрани, односно у нападу.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Доктрина Војске Србије (2010). Медија центар „Одбрана“, Београд.

[2] Ђурић З., Деветак С., Илић М. (2023). Концепт моделовања и решавања тактичких задатака – прилог теорији и пракси таткике. *Научна конференција војних наука ВојНа 2023, Зборник апстраката,* 75-78.

[3] Шепец В. Владимир (2015). Метода ефикасније процене борбене ситуације, Ветерани војно-обавештајне службе Србије, Београд.

[4] Митић В., Петровић Д. (2015). Модел развоја ватрених способности тактичких јединица Копнене војске у извршавању задатака пробоја. *XLII симпозијум о операционим истраживањима СИМ-ОП-ИС 2015, Зборник радова,* 454-458.

[5] Упутство за одређивање борбених могућности Војске Србије (2015). ГШ ВС Управа за оперативне послеве, Медија центар Одбрана, Београд.

[6] Вукадиновић. С. (1975). Елементи теорије масовног опслуживања, Научна књига, Београд.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# МОДЕЛ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДРЕЂИВАЊА ЛОКАЦИЈЕ ЦЕНТРА У ТРАНСПОРТНИМ МРЕЖАМА

# A MODEL OF MUULTICRITERIA CENTER LOCATION IN TRANSPORTATION NETWORK

СРЂАН ЉУБОЈЕВИЋ[1], БОБАН ЂОРОВИЋ[2], СРЂАН ДИМИЋ[3], ДРАГАН КОСТАДИНОВИЋ[4]

[1] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, Београд, srdjan.ljubojevic@va.mod.gov.rs
[2] Универзитет одбране у Београду, Београд, lukema@ptt.rs
[3] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, Београд, srdjan.dimic@mod.gov.rs
[3] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, Београд, kosta1901@gmail.com

---

***Резиме:*** *У овом раду је приказан модел вишекритеријмске модификације класичног приступа решавању локацијског проблема одређивања центра у транспортним мрежама. Модификација се заснива на вишекритеријумском вредновању значаја чворова, с обзиром на врсту проблема, односно услуге, која се реализује на мрежи и трансформацији удаљености између чворова под утицајем тог значаја. Модел је илустрован на студији случаја одређивања центра чворова мреже у војном објекту – касарни, на примеру лоцирања противпожарне јединице.*

***Кључне речи:*** *Локацијски проблем, противпожарна јединица, вишекритеријумски приступ.*

***Abstract:*** *This paper presents a multi-criteria modification model of the classic approach to solving the location problem of determining the center in transportation networks. The modification is based on a multi-criteria evaluation of the importance of nodes, considering the type of problem i.e. the service that is realized on the network and the transformation of the distances between nodes under the influence of that importance. The model is illustrated on the case study of determining the center of network nodes in a military facility – a military barracks, on the example of locating a firefighting unit.*

***Keywords:*** *Location problems, firefighting unit, multi-criteria approach.*

---

## 1. УВОД

Локацијски проблеми представљају групу проблема која се јавља када треба неки број објеката лоцирати у мрежи комуникација, уз задовољење одређених ограничења и минимизацију или максимизацију циљне функције. Оптимална локација објекта или објеката у мрежи зависи од врсте система у који се објекти имплементирају, односно у коме се врши опслуга корисника. Тако се нпр. терминали као што су станице метроа или јавног градског транспорта путника лоцирају на начин да се минимизира укупно пешачење корисника услуга; логистички центри се, као и аеродроми, лоцирају ван градских језгара, на периферији града, а опет не предалеко; школе и вртићи се локацијски распоређују на начин да се минимизира просечно растојање за све кориснике; здравствени објекти, ватрогасне станице и сл. се лоцирају тако да се минимизира растојање до најудаљенијег корисника итд. Поред поменутих, објекти чије се лоцирање захтева могу бити и банке, поште, колектори или станице за прикупљање отпада, сервиси, складишта, итд.

При решавању локацијских проблема треба одговорити на три типа питања [1]:

- Колико укупно објеката треба лоцирати на мрежи (у колико објеката се обавља услуга на мрежи)?
- Где треба лоцирати те објекте? и
- Како алоцирати клијенте по објектима?

Класичан проблем локације може се дефинисати као проблем одређивања локације у мрежи, бар једном објекту из кога или у коме ће се опслуживати више постојећих објеката (клијенти, тачке/чворови потраживања) [4]. За решење овог проблема су предлагане бројне квантитативне и квалитативне технике операционих истраживања, менаџмента и других научних дисциплина. Зависно од природе објекта коме се одређује локација, различите циљне функције се разматрају. Најчешће су то минимизација удаљености, минимизација времена путовања или времена чекања, минизација трошкова, максимизација нивоа услуге или безбедности, максимизација броја опслужених клијената итд.

У овом раду предложен је модел лоцирања центра мреже, који се најчешће решава као једнокритеријумски проблем минимизације удаљености до најдаљег корисника. Предложени модел представља надоградњу класичних модела одређивања центра у транспортним мрежама вишекритеријумским приступом.

## 2. МОДИФИКАЦИЈА КЛАСИЧНОГ МОДЕЛА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ЦЕНТРА МРЕЖЕ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИМ ПРИСТУПОМ

Решавање проблема центра повезано је са одређивањем локације станица хитне помоћи, ватрогасних станица, станица полиције и сл. При решавању проблема, претпоставка је да се „центар мреже“ може лоцирати у неком чвору мреже или на грани мреже. Ту треба разликовати три врсте центара у мрежи: локални центар гране, центар чворова мреже и апсолутни центар мреже [3].

За локални центар гране важе изрази (1) и (2):

$$d(c_a,i)=\max_{i\in N} d(c_a,i) \tag{1}$$

$$d(c_a,i)\le d(x_a,j);(c_a,x_a\in a;i,j\in N) \tag{2}$$

где је: $c_a$ – тачка (локација) на грани *a,* у мрежи *G(N,A), N* – скуп чворова и *A* – скуп грана,
$d(c_a,i)$ – удаљеност од тачке $c_a$ до чвора *i*, који је најудаљенији чвор од тачке $c_a$ и
$d(x_a,j)$ – удаљеност од тачке $x_a$ (тачка на грани *a*), до њој најудаљенијег чвора *j*.

Такође, по истом принципу, ако је растојање између неког чвора C и њему најудаљенијег чвора *i*, мање или једнако растојању између било ког другог чвора *X* и њему одговарајућег најудаљенијег чвора *j*, израз (3), тада је чвор *C* - центар чворова мреже *G*.

$$d(C,i)\le d(X,j);(C,X,i,j)\in N \tag{3}$$

На крају, апсолутни центар мреже је локација $(x_0)$ на мрежи за коју важи да је растојање између ње и њој најудаљенијег чвора *(i)* мање или једнако растојању између било које друге локације *(x)* у мрежи и њој одговарајућег најудаљенијег чвора *(j),* израз (4).

$$d(x_0,i)\le d(x,j) \tag{4}$$

Евидентно је да се одређивање било ког од наведених центара у мрежи заснива на мерењу удаљености између две тачке. Ипак, код неких реалних проблема удаљеност као једини критеријум није довољна.

Предлог унапређења решавања овог проблема састоји се у томе да се удаљеност између тачака, односно дужина пута у мрежи, замени количником стварне дужине пута и вредности фукције вишекритеријумског карактера (агрегиране „вредности“ чвора по више критеријума). Од врсте објеката, односно делатности која се одвија на мрежи, у сваком конкретном примеру/проблему треба одредити одговарајућу вишекритеријумску вредност функције за све чворове, којом потом треба трансформисати удаљеност у мрежи.

Да би се очувао карактер функције циља код класичног модела за одређивање центра мреже, потребно је водити рачуна да се применом методе вишекритеријумског вредновања локација (чворова) у којима се налазе клијенти, очува фаворизација минималне удаљености најудаљенијег клијента. Због тога је код избора вишекритеријумске методе потребно обезбедити да скала на којој се приказује резултат вишекритеријумског вредновања буде таква да „важнији“ чворови имају већу бројчану вредност. У супротном, уколико су резултати такви да при рангирању фаворизују оне алтернативе које имају мање бројчане вредности резултата, потребно је инвертовати скалу резултата вишекритеријумског рангирања важности чворова. Са друге стране, некада је потребна и нормализација излазних резултата, да би се очувао релативни однос међу важностима алтернатива (чворова), што све зависи од примењене методе вишекритеријумског рангирања.

У том случају, модификовани изрази (1) и (2) за локални центар гране имају облик израза (4) и (5):

$$d^w(c_a,i) = \max_{i \in N} \left[ d(c_a,i)/w_i \right] \qquad (4)$$

$$d^w(c_a,i) \le d^w(x_a,j); (c_a, x_a \in a; i,j \in N) \qquad (5)$$

где је: $w_i$ – вредност фукције вишекритеријумског карактера (по потреби и њена инвертована или нормализована вредност) за чвор $i$, односно агрегирана „вредност“ чвора $i$ по више критеријума,

$d^w(c_a,i)$ – „отежана“ удаљеност (удаљеност „отежана“ вредношћу чвора $i$) од тачке $c_a$ до чвора $i$, који је најудаљенији чвор од тачке $c_a$ и

$d^w(x_a,j)$ – „отежана“ удаљеност од тачке $x_a$ (тачка на грани $a$), до њој најудаљенијег чвора $j$.

Такође, по истом принципу, за центар чворова мреже, израз (3), се модификује у израз (6).

$$d^w(C,i) \le d^w(X,j); (C,X,i,j) \in N \qquad (6)$$

Аналогно, за потребе одређивања апсолутног центра мреже израз (4) се трансформише у израз (7).

$$d^w(x_0,i) \le d^w(x,j) \qquad (7)$$

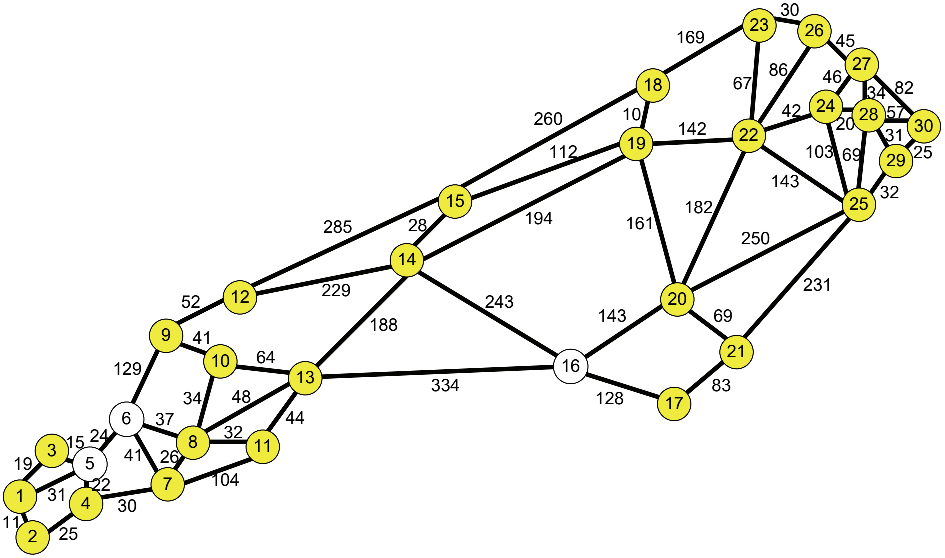
## 3. ПРИМЕНА МОДИФИКОВАНОГ МОДЕЛА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ЦЕНТРА МРЕЖЕ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИМ ПРИСТУПОМ

Примена модификованог модела за одређивање локације центра мреже приказана је на примеру одређивања локације противпожарне јединице у касарнама Војске Србије (ВС), с обзиром да овај тип проблема одговара локацијским проблемима одређивања центра.

Наиме, заштиту од пожара се у јединицама ВС организује и спроводи сопственим снагама и, по потреби, ангажовањем ватрогасних јединица са територије. Позитивним прописима у ВС је регулисан и састав и величина противпожарне јединице, дужности и обавезе и многа друга питања, али није дефинисан начин одређивања њене локације у касарни.

Најчеће се у пракси та јединица лоцира (на основу наређења команданта касарне) у парку техничких средстава, у логистичкој јединици или где се већ налази погодан простор за смештај људства и опреме те јединице. Међутим у касарнама велике површине, такво одређивање локације противпожарне јединице може ту јединицу учинити неефикасном. Унапређење противпожарне заштите лоцирањем противпожарне јединице у касрни приказано је на реалној студији случаја, где је распоред објеката (чворова) и комуникација (грана транспортне мреже) у касарни приказан шематски, слика 1. (чворови 5, 6 и 16 у реалном примеру касарне су раскрснице – неопходне за формирање планарног графа на шематском приказу мреже, док су остали чворови на локацији објеката у касарни).

С обзиром да се противпожарна јединица мора сместити у неки од већ постојећих објеката у касарни, то се у овом случају мора тражити центар чворова мреже. Уколико се спроведе алгоритам за одређивање центра чворова мреже на слици 1 (кораци алгоритма се могу видети у [3]), као решење се добија чвор 15 (у конкретној касарни је у чвору 15 размештено термоенергетско постројење), табела 1. У том случају се најудаљенији „корисник услуга“ противпожарне јединице налази на удаљености од 419 метара. Треба напоменути да се противпожарна јединица у реалности налази лоцирана у чвору 10 (парк техничких средстава у касарни из примера) и да се у том случају најудаљенији корисник налази на 699 метара од локације противпожарне јединице.



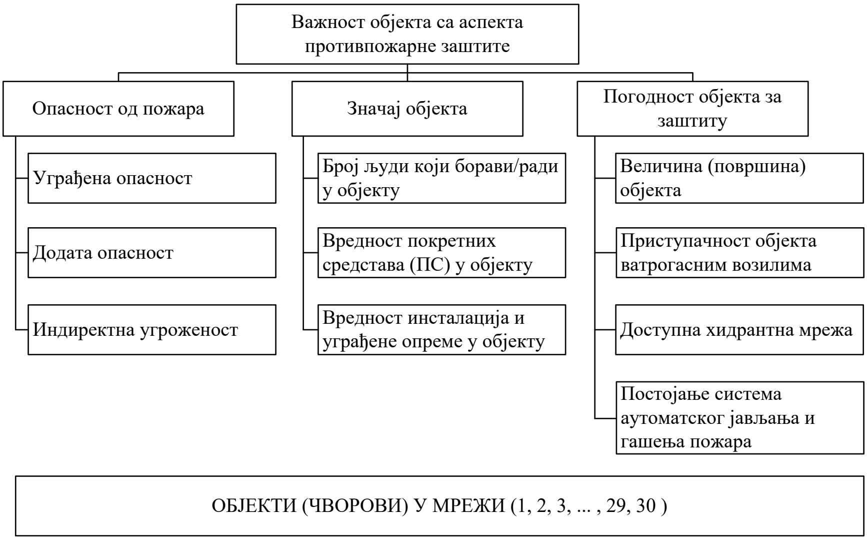
**Слика 1:** Шематски приказ мреже објеката и комуникација у касарни, са међусобним удаљеностима

**Табела 1:** Варијанте локације центра чворова мреже према класичном моделу одређивања центра

| **ЦЕНТАР у чвору** | Најудаљенији чвор | Удаљеност у [m] | **ЦЕНТАР у чвору** | Најудаљенији чвор | Удаљеност у [m] |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 25 | 775 | **16** | 1 | 474 |
| **2** | 25 | 764 | **17** | 1 | 602 |
| **3** | 25 | 759 | **18** | 1 | 478 |
| **4** | 25 | 739 | **19** | 1 | 468 |
| **5** | 25 | 744 | **20** | 1 | 617 |
| **6** | 25 | 720 | **21** | 1 | 685 |
| **7** | 25 | 709 | **22** | 1 | 610 |
| **8** | 25 | 683 | **23** | 1 | 647 |
| **9** | 25 | 728 | **24** | 1 | 652 |
| **10** | 25 | 699 | **25** | 1 | 735 |
| **11** | 25 | 679 | **26** | 1 | 677 |
| **12** | 25 | 676 | **27** | 1 | 698 |
| **13** | 25 | 635 | **28** | 1 | 672 |
| **14** | 25 | 447 | **29** | 1 | 703 |
| **15** | 25 | 419 | **30** | 2 | 717 |

Према предложеном модификованом моделу за одређивање центра мреже, најпре је потребно неком од метода вишекритеријумског рангирања, вредновати све објекте (чворове у мрежи). У конкретном примеру, с обзиром на врсту проблема, погодна је метода

Аналитичког хијерархијског процеса [2]. Успостављена хијерархија вредновања чворова (објеката) из аспекта важности за противпожарну заштиту приказана је на слици 2.



**Слика 2:** Хијерархијски нивои вредновања објеката у мрежи

Примера ради, критеријум уграђене опасности вреднује се на основу оцене стања уграђене електричне инсталације. конструкционог материјала и сл. Критеријум додате опасности је опредељен запаљивошћу материјала који се налази у објекту и врстом делатности која се обавља у објекту. Индиректна угроженост зависи од ризика од преношења пожара са околних објеката на посматрани објекат итд.

Након спроведене процедуре поређења у паровима, према стандардној Сатијевој скали, најпре објеката, потом критеријума на 2. нивоу и на крају критеријума на првом нивоу, и прорачуна вектора сопствених вредности, добијене су следеће вредности релативне важности објеката (чворова), табела 2.

**Табела 2:** АХП вредности релативне важности објеката

| **Објекат** | Релативна важност ($w_i$) | **Објекат** | Релативна важност ($w_i$) | **Објекат** | Релативна важност ($w_i$) |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 0.031 | **11** | 0.013 | **21** | 0.061 |
| **2** | 0.011 | **12** | 0.047 | **22** | 0.041 |
| **3** | 0.036 | **13** | 0.055 | **23** | 0.011 |
| **4** | 0.012 | **14** | 0.039 | **24** | 0.062 |
| **5** | 0.003 | **15** | 0.042 | **25** | 0.051 |
| **6** | 0.002 | **16** | 0.001 | **26** | 0.023 |
| **7** | 0.057 | **17** | 0.009 | **27** | 0.021 |
| **8** | 0.059 | **18** | 0.046 | **28** | 0.021 |
| **9** | 0.034 | **19** | 0.058 | **29** | 0.028 |
| **10** | 0.045 | **20** | 0.055 | **30** | 0.025 |

Сада је мрежа објеката са трансформисаним вредностима удаљености међу њима (када се вредности удаљености из табеле 1, поделе релативним важностима одговарајућег објекта, из табеле 2) основ за одређивање центра чворова у мрежи, табела 3. Одређивањем минималне вредности међу издвојеним максималним „отежаним“ удаљеностима најдаљих чворова од чворова кандидата за центар мреже, издваја се центар чворова мреже. У конкретном примеру то је чвор 19, у коме се у реалној касарни налазе људство и муниција, у близини кога се налазе и други објекти у којима борави већи број људи и у којима се налазе вредна ПС.

**Табела 3:** Варијанте локације центра чворова према модификованом моделу одређивања центра

| Објекат | „отежана“ удаљеност | Објекат | „отежана“ удаљеност | Објекат | „отежана“ удаљеност |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 25000 | **11** | 52230.77 | **21** | 11229.51 |
| **2** | 69454.55 | **12** | 14382.98 | **22** | 14878.05 |
| **3** | 21083.33 | **13** | 11545.45 | **23** | 58818.18 |
| **4** | 61583.33 | **14** | 11461.54 | **24** | 10516.13 |
| **5** | 248000 | **15** | 9976.19 | **25** | 14411.76 |
| **6** | 360000 | **16** | 474000 | **26** | 29434.78 |
| **7** | 12438.6 | **17** | 66888.89 | **27** | 33238.1 |
| **8** | 11576.27 | **18** | 10391.3 | **28** | 32000 |
| **9** | 21411.76 | **19** | 8068.966 | **29** | 25107.14 |
| **10** | 15533.33 | **20** | 11218.18 | **30** | 28680 |

Уколико се ово решење упореди са решењем са слике 1. (које се заснива на удаљеностима између објеката без узимања у обзир агрегираних вредности објеката), може се уочити да је за центар чворова мреже одабран други објекат, али да пут до најудаљенијег корисника није значајније повећан, што указује на то да модификација поступка одређивања центра нуди компромис између значаја објеката и минимизације удаљености у мрежи.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Предложени модел модификације класичних приступа решавању локацијског проблема центра у транспортној мрежи омогућава унапређење праксе у случајевима када једнокритеријумски приступ проблему има мањкавости. Вештина аналитичара, доносиоца одлуке, поред неопходног познавања теорије и класичних модела решавања проблема локације, састоји се у способности да класичне моделе прилагођава реалним проблемима.

Наиме, реални проблеми најчешће захтевају одређене модификације и апроксимације школских и класичних поступака решавања. У конкретном случају та способност односи се на способност примене вишекритеријумских метода рангирања и њихово комбиновање са моделима транспортних мрежа. При томе, адаптација метода и модификација са циљем уподобљавања захтевима конкретне проблемске ситуације носе и одређене замке, али нуде и компромисна решења, која се обично испостављају бољим за реалну употребу. У приказаној студији случаја променом локације противпожарне јединице у конкретној касарни скратило би се време реакције те јединице у случају потребе за интервенцијом. С обзиром на удаљености између објеката, то скраћење се мери у минутима, али не треба заборавити да је у случају пожара сваки секунд важан, нарочито ако се ради о заштити људства.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Вујошевић, М., Панић, Б. (2016). Мрежни модели локације и њихове примене, *Техничка дијагностика*, 3-4, стр. 32-39.

[2] Saaty, T.L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, USA.

[3] Теодоровић, Д. (2016). *Транспортне мреже*, Саобраћајни факултет, Београд.

[4] Farahani, R. Z., Hekmatfar, M. (2009). Facility location concepts, models, algorithms and case studies, Heidelberg: Springer, Berlin.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# САМОПОУЗДАЊЕ И КВАЛИТЕТ ПЕРЦЕПТИВНЕ ПРОЦЕНЕ ВОЗАЧА – ПОЧЕТНИКА

# SELF-ESTEEM AND PERCEPTUAL QUALITY OF NOVICE DRIVERS

ТЕОДОРА ЈОВАНОВИЋ[1], ЛИДИЈА ТОТ[2]

[1] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, teodorakladovo@gmail.com
[2] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, lidija.tot11@gmail.com

---

***Резиме:*** *У раду је приказано истраживање структуре полних разлика самопоштовања и перцептивне процене возача у саобраћају. Узорак испитаника чинило је 56 особа оба пола, без положеног возачког испита, старости између 18 и 23 године, а примењена су два инструмента: Vienna test sistem и Росенбергова скала самопоштовања. Понашање возача схваћено је као скуп одређених навика, склоности и емоцијалних реакција приликом вожње, а укључује и евалуацију квалитета властите вожње. Перцепција возача у вожњи представља комплексан когнитивни процес који укључује примање, интерпретацију и интеграцију визуелних информација ради доношења адекватних одлука и извршавања одговарајућих активности. Под појмом самопоштовање подразумева се евалуација коју појединац ствара или на одређени начин одржава о себи, а која се одражава на став прихватања или одбијања или упућује на размишљање да појединац себе доживљава способним, успешним, вредним и значајним. Не постоје статистички значајне разлике између мушкараца и жена у самопоштовању, али су добијене у ширини видног поља.*

***Кључне речи:*** *визуелна перцепција, Vienna test system, Rosenberg Self-Esteem Scale*

***Abstract:*** *The paper presents an investigation of the structure of gender differences between self-esteem and the perceptive assessment of drivers in traffic. The sample of respondents consisted of 70 people of both sexes, without a driving test, aged between 18 and 23, and two instruments were used: the Vienna test system and the Rosenberg Self-Esteem Scale (The 10-item Rosenberg Self-Esteem Scale). The driver's behavior is understood as a set of certain habits, tendencies and emotional reactions when driving, and it also includes the evaluation of the quality of one's own driving. The driver's perception while driving is a complex cognitive process that includes receiving, interpreting and integrating visual information in order to make adequate decisions and perform appropriate activities. The term self-esteem refers to the evaluation that an individual creates or maintains about himself in a certain way, which is reflected in the attitude of acceptance or rejection or refers to thinking that the individual perceives himself as capable, successful, valuable and significant. There are no statistically significant differences between men and women in self-esteem, but they are obtained in the width of the visual field.*

***Keywords:*** *perception, Vienna test system, RES test*

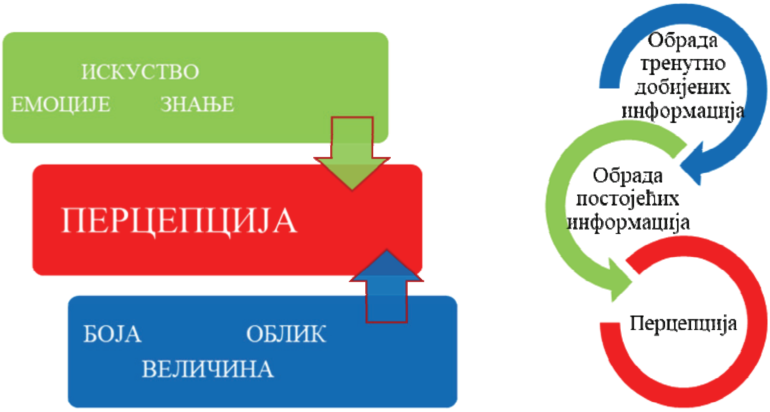
---

## 1. УВОД

Вожња аутомобила је комплексан задатак перцептуално-информацијског процеса који укључује перцепцију, идентификацију и адекватан одговор на важне информације (нпр. хоризонталну и вертикалну сигнализацију, пешаке и друга моторна возила у саобраћају) у околини. [1] Понашање возача схваћено је као скуп одређених навика, склоности и емоционалних реакција приликом вожње, а укључује и евалуацију квалитета властите вожње.

Под утицајем ранијег искуства разликоваће се, на пример, опажање искусног возача на свакодневној рути, његов опажај садржаће много детаља као што су: познати делови пута (мост, кућа, школа, болница), саобраћајна сигнализација, итд.

Процењено је да 90% информација у вожњи, возач добија визуелним путем. [3] С тога је вероватноћа да ће ефикасност визуелно-перцептивних вештина возача утицати на његов квалитет вожње. За успешно кретање аутомобила на путу, возач треба стално да обрађује нове информације и да их користи за доношење одговарајућих одлука. Приликом вожње, велики део пажње усмерава се на хоризонталну и вертикалну сигнализацију, као што су семафори, знакови, стоп светла, али је такође неопходно да свест о дешавањима у периферном пољу буде на адекватном нивоу. Визуелно-перцептивне вештине, као што су скенирање, праћење и детекција фигура, омогућавају уочавање најважнијих објеката и дешавања у току вожње. Неуочавање релевантних знакова може довести до потенцијално опасне ситуације, на пример, пропуштен знак за заустављање може довести до неуспеха заустављања на главној саобраћајници. Перцепција возача у вожњи представља комплексан когнитивни процес који укључује примање, интерпретацију и интеграцију визуелних информација ради доношења адекватних одлука и извршавања одговарајућих активности. У литератури која се односи на визуелне аспекте вожње, периферно-визуелна перцепција, се обично помиње кроз три сегмента: (1) процена брзине, настају велике угаоне брзине у периферном видном пољу; (2) руковање возилом, предмети са стране коловоза у периферном видном пољу; (3) надгледање околине у вожњи, детекција догађаја и објеката, на пример, претицање аутомобила или возила која излазе из споредне улице.



**Слика 1:** Процес визуелне перцепције

Самопоштовање дефинишемо као резултат формираног појма о себи, односно као вредновање или евалуацију себе. Под појмом самопоштовање подразумева се евалуација коју појединац ствара о себи, а која се одражава на став прихватања или одбијања или упућује на размишљање да појединац себе доживљава способним, успешним, вредним и значајни. [2] С тим у вези, појединци са високим самопоштовањем поштују себе и сматрају се вредним, док су појединци ниског самопоштовања склони одбацивању себе, незадовољством самим собом и презиру према себи. [2] Возачи са високим самопоштовањем су мање осетљиви на критику и неуспех јер их не доживљавају као претњу, такође они лакше подносе стресне и променљиве ситуације јер имају вере у своје способности и осећај контроле над возилом. Такве особе се труде да господаре ситуацијом што смањује негативне емоције, оне преузимају активности орјентисане на проблем. Возачи са ниским самопоштовањем изражавају саможаљење и потребу за подршком. Ове особе немају јасну представу о себи, па траже мишљење других при чему су јако осетљиве на критике. Истраживања су показала како је самопоштовање битна одредница или индикатор психичког здравља и понашања у вожњи, као и нормалног функционисања појединца у саобраћају.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА РАДА

Узорак: Узорак испитаника чинило је 56 особа оба пола, укључујући ученике Средње стручне војне школе „1300 каплара" и кадете Војне академије модула саобраћај и транспорт, без положеног возачког испита, старости између 18 и 23 године.

Процедура: подаци су прикупљани током 2023. године на Војној академији од стране аутора у склопу пројекта Модел возача у транспортним јединицама Војске Србије ВА-ТТ/20-25.

Варијабле у овом истраживању су биле самовредновање и резултати на тесту периферне перцепције из батерије DRIVEPLS VIENNA TEST SYSTEM (ВТС).

Инструменти: Као мера самопоштовања узета је верзија Росенебергове скале самопоштовања која се састоји од 10 исказа. Лествица самопоштовања коју је Росенберг развио темељи се на самоисказу и процени глобалног самопоштовања, односно општег става према себи.

У овом инструменту самопоштовање је посматрано као једнодимензионални концепт, стабилна особина и предиспозиција. Сваки одговор је оцењен на скали од 5 тачака, иако је оригинални инструмент имао четворостепену скалу. За потребе ове студије, она је прилагођена у петостепену Likertovu скалу усидрену са 1 (потпуно се слажем) до 5 (уопште се не слажем), а питања 2, 5, 6, 8, 9 су оцењена обрнуто. Опште самопоуздање је представљено збиром свих оцена, са могућим распоном од 10 до 50. За српску популацију језичку адаптацију је урадио проф. Марић, а узорак су чиниле незапослене одрасле особе. Пријављена је и поузданост скале (α= 0,80).

Vienna test system је компјутеризовано, објективно средство за процену које се састоји од интерактивних тестова са способношћу анализе различитих конструкција важних за возаче са различитих аспеката саобраћајне психологије. Једна од главних предности аустријског ВТС-а је та што обезбеђује валидан и поуздан поступак тестирања којим се могу идентификовати карактеристичне особине личности возача и њихове когнитивне и психомоторне активности.

**Слика 2**: Главни делови Vienna Test System-а

Тест периферне перцепције (PP-P) процењује способност примања и обраде периферних и визуелних информација. Добро визуелно опажање је незамењиво у мноштву активности од којих је једна вожња моторног возила. Из тога произилази да је један од главних узрока незгоде касно или непотпуно опажање информација везаних за релевантне околности. Тест подразумева два задатка – централни задатак праћења и задатак периферне перцепције. Светлосне диоде генеришу визуелне стимулусе који се померају одређеном брзином у периферном видном пољу. Критични стимулуси се појављују у одређеним интервалима; испитаник реагује на ове стимулусе притискањем ножних педала. Истовремено се мора обављати задатак праћења на екрану. Бодују се следеће варијабле: укупно видно поље, визуелни углови лево-десно, одступање праћења, број погодака лево десно, број нетачних реакција, број изосталих реакција, као и средње време реакције. Поузданост теста за периферни вид је p = 0,96, а за одступање p = 0,98. Приближно трајање теста је 15 минута (укључујући фазу инструкција и вежбе).

**Слика 3** : Тест периферне перцепције

## 3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Полна расподела испитаника приказана на графику број 1, при чему је узорак испитаника представљало 56 особа, укључујући ученике Средње стручне војне школе и кадете Војне академије.

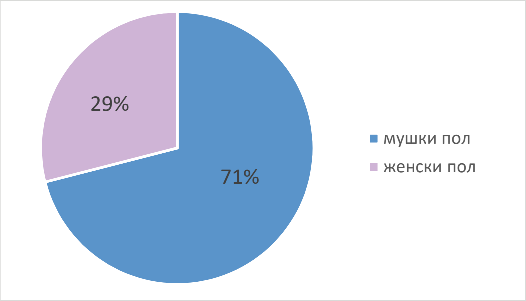


**График 1:** Узорак испитаника подељен по полу

У истраживању, независна варијабла представљала је пол, а зависне варијабле су биле самопоштовање, визуелна перцепција и одступање од видног поља. Важно је напоменути да је Пирсонов коефицијент (израз 1) израчунат за оба пола, али да не постоје статистички значајне разлике између мушкараца и жена у самопоштовању.

$$r = \frac{\sum xy}{N \cdot SD_x \cdot SD_y} \tag{1}$$

где су: $x$, $y$ – варијабле;

$N$ – број испитаника;

$SD_x$ и $SD_y$ – стандардне девијације варијабли $x$ и $y$ (2)

$$SD_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n} - x^{-2}} \qquad SD_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{n} - y^{-2}} \tag{2}$$

Статистички значајне разлике су добијене у ширини видног поља (t = 2,77, p < 0,01, df = 54) и одступања од видног поља (t = 2,36, p < 0,007, df = 54) између мушкараца и жена.

Самопоштовање није значајан предиктор ширине видног поља и одступања од видног поља на целокупном узорку, нити на узорцима мушкараца и жена посматраним појединачно.

**Табела 1** : Приказ резултата

| | **пол** | **M** | **SD** |
|---|---|---|---|
| **видно поље** | М | 56,10 | 24,95 |
| | Ж | 34,50 | 26,91 |
| **одступање** | М | 42,60 | 12,64 |
| | Ж | 30,44 | 18,97 |
| **GSE** | М | 4,22 | 0,57 |
| | Ж | 4,22 | 0,59 |

## 4. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА

Што се тиче ширине видног поља, мушкарци (M = 56,10; SD = 24,95) имају просечно шире видно поље у поређењу са женама (M = 34,50; SD = 26,91). Ови резултати су статистички значајни (t = 2.77; $p < 0,010$; df = 54), што указује на то да постоји разлика у способности визуелне перцепције између полова. Шири видни угао мушкараца може имати импликације на њихову способност да примете објекте саобраћајне сигнализације, попут знакова, ознака на коловозу и светлосних знакова, као и промене у саобраћају, што може бити повезано са већом ефикасношћу и сигурношћу у вожњи.

Када је у питању одступање од видног поља, такође се примећују разлике између мушкараца (M = 42,60; SD = 12,64) и жена (M = 30,44; SD = 18,97) (t = 2,36; $p < 0,007$; df = 54). Одступање од видног поља се односи на способност одржавања фокуса на предметима у централном видном пољу. Резултати указују на то да мушкарци можда имају бољу способност одржавања фокуса у поређењу са женама, што може бити корисно током вожње, где је неопходно препознавање и праћење објеката у непосредном окружењу на путу.

Међутим, када је реч о самопоштовању, резултати показују да не постоји статистички значајна разлика између мушкараца (M = 4,22; SD = 0,57) и жена (M = 4,22; SD = 0,59) (t = 0; $p > 0,05$). Ово указује на то да мушкарци и жене имају слично самопоштовање, што може бити важно у контексту саобраћајне психологије. Самопоштовање се није показало као значајан предиктор ширине видног поља и одступања од видног поља код возача почетника, што сугерише да постоји независност између ове две варијабле.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Посматрајући резултате овог истраживања, може се извести закључак да мушкарци и жене имају различите перформансе у погледу ширине видног поља и одступања од видног поља, али не и у самопоштовању. Разлике у визуелној перцепцији између полова могу бити последица биолошких фактора, као и друштвених и психолошких утицаја. Даља истраживања требало би фокусирати на уочавање и идентификацију механизама који стоје иза свих разлика и њихов утицај на безбедност у саобраћају.

Резултати могу бити од значаја за истраживања у пољу саобраћајне психологије и могу послужити као основа за даља истраживања у циљу унапређења сигурности и безбедности возача почетника, а на чему се интензивно ради у току оспособљавања за управљање моторним возилима у Батаљону за обуку саобраћајне службе, у Краљеву, за категорију Ц и код 101. Могуће је да би адекватна обука која је усмерена на побољшање ширине видног поља и смањење одступања од централног видног поља могла бити корисна за женски пол, док би мушкарци можда имали користи од фокусирања на друге аспекте вожње.

Резултати наглашавају важност разумевања различитих фактора који утичу на квалитет перцептивне процене возача почетника, како би се развиле циљане стратегије и интервенције које ће допринети већој безбедности у јавном саобраћају.

## ЗАХВАЛНОСТ

Овај рад је проистекао из научноистраживачког пројекта ВА-ТТ/2/20-25 који финансира Министарство одбране Републике Србије.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Reason, J. T., & Brand, J. J. (1975). Visual attention and the control of eye movement in driving. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 17(2), 124-132.

[2] Лојић Р. (2019) Лидерство, Медија центар „Одбрана“, Београд, 444-462.

[3] Horberry, T., Anderson, J., Regan, M. A., & Triggs, T. J. (2006). Driver distraction: The effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance. Accident Analysis & Prevention, 38(1), 185-191.

# РУДАРСТВО, ГЕОЛОГИЈА И ЕНЕРГЕТИКА

# MINING, GEOLOGY AND ENERGETICS

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА АУТОРЕГРЕСИОНИХ МОДЕЛА ЗА ПОТРЕБЕ КРАТКОРОЧНИХ ПРОГНОЗА ИСТИЦАЊА КАРСТНИХ ВРЕЛА

# APPLICATION OF AUTOREGRESSION MODELS FOR THE SHORT-TERM FORECASTS OF KARST SPRINGS DISCHARGES

ВЕЉКО МАРИНОВИЋ[1], ВЕСНА РИСТИЋ ВАКАЊАЦ[1], САША МИЛАНОВИЋ[1], ЉИЉАНА ВАСИЋ[1], БРАНИСЛАВ ПЕТРОВИЋ[1], ДУШАН ПОЛОМЧИЋ[1], РАДИСАВ ГОЛУБОВИЋ[2]

[1] Универзитет у Београду, Рударско-Геолошки факултет, Београд, veljko.marinovic@rgf.bg.ac.rs; vesna.ristic@rgf.bg.ac.rs; sasa.milanovic@rgf.bg.ac.rs; ljiljana.vasic@rgf.bg.ac.rs; branislav.petrovic@rgf.bg.ac.rs; dusan.polomcic @rgf.bg.ac.rs
[2] Истраживачка станица Петница, Ваљево, golub@petnica.rs

***Апстракт:*** *Модел вишеструке линеарне регресије је најчешће примењивани модел за симулације, односно прогнозе одговарајућих случајно промењљивих величина. Као најједноставнији модели примењују се ауторегресиони (АР) модели који симулирају истицање карстних врела на основу издашности врела регистрованих претходних дана. АР модели примењени су на примерима Великог врела за шестогодишње периоде осматрања, односно врела Бање и Гостиљског врела за десетогодишње периоде осматрања. Укључивањем више независних величина, коефицијенти корелације безначајно расту, те је препорука да се максимално 3 независне промењљиве укључе у симулациони модел. Нешто виши коефицијенти корелације јављају се код узлазних него код гравитационих врела, а најнижи код интермитентних. Такође, кишне године су показале више коефицијенте корелације од сушних година. АР модели, стога, могу представљати користан алат при прелиминарној симулацији истицања карстних врела на основу претходних вредности издашности врела.*

***Кључне речи:*** *карст, ауторегресиони модел, врело Бање, Велико Врело, Гостиљско врело*

***Abstract:*** *The multiple linear regression model is the most commonly applied model for simulations, i.e. forecasts of randomly variables. As the simplest models, autoregression (AR) models are applied, which simulate the karst springs discharge based on the spring discharge rates registered the previous day. AR models were applied to the examples of the Veliko vrelo for six-year observation periods, and the Banja and Gostiljsko vrelo springs for ten-year observation periods. By including more independent variables, the correlation coefficients increase insignificantly, so it is recommended to include a maximum of 3 independent variables in the simulation model. Correlation coefficients are somewhat higher for ascending than for gravitational springs, and the lowest for intermittent ones. Also, rainy years showed higher correlation coefficients than dry years. AR models, therefore, can be a useful tool in the preliminary simulation of karst hot spring discharge based on previous spring yield values.*

***Keywords:*** *karst, autoregresional model, karst spring Banja, karst spring Veliko vrelo, karst spring Gostiljsko vrelo*

## 1. УВОД

Прве насеобине људске цивилизације су углавном биле подизане на обалама река. Током малих и средњих вода ова станишта људи нису била угрожена. Међутим, током великих вода, нарочито изливањем токова из својих корита, долазило је до делимичних или потпуних уништавања објеката за становање. Након сваке поплаве подизало се ново насеље, највероватније удаљеније од обале, али како увек постоји нека наредна поплава која је већа од претходне, уништавања насеобина су се свакако дешавала у одређеним временским периодима. Од тада па до данас покушавало се да се предвиде поплаве, у почетку праћењем одређених природних појава које су, по неким тадашњим савременицима, биле предсказатељи изливања токова. Касније, у скоријој историји, почели су се користити различити хидролошки симулациони модели са циљем да излаз, односно срачунате вредности водостаја или протицаја река или истицања нпр. карстних врела прате њихове реалне вредности. Што боље праћење односно преклапање срачунатих и реалних вредности, то је симулациони модел бољи и може дати тачније прогнозне вредности које можемо очекивати у току наредних часова, сутрашњег дана или у току наредна два, три …, односно месец и више дана. Свакако да је потребно успоставити мониторинг величине од интереса да би имали довољно дуг низ који ће послужити за валидацију примењених модела, а и за одабир оног који даје најбоље резултате.

У ову сврху најчешће примењивани су регресиони модели и то модел вишеструке регресије (линеарне и нелинеарне). Модел вишеструке линеарне регресије је најчешће примењивани модел за симулације, односно прогнозе одговарајућих случајно променљивих величина. Уколико постоји зависност једне појаве у функцији две или више независних појава, онда се говори о вишеструкој линеарној регресији. Успоставља се зависност између зависно променљиве $Y$ и независних променљивих $X_1$, $X_2$, ... $X_k$ на основу којих се добија симулација зависно променљиве или њено предвиђање везано за одговарајући временски период. Поменута зависност је дата регресионим моделом облика:

$$Y_i = \beta_o + \beta_1 \cdot x_{1,i} + \beta_2 \cdot x_{2,i} + ... + \beta_n \cdot x_{n,i} + e_i$$

где су: $Y_i$ - зависно променљива $i$-тог реда, $x_i$ - независно променљива $i$-тог реда, $\beta_i$ - непознати коефицијенти вишеструке регресије, $e_i$ - случајна грешка.

Применом методе најмањих квадрата срачунавају се непознати коефицијенти вишеструке регресије а претходна једначина добија следећи облик:

$$\widetilde{y} = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + ... + b_n \cdot x_n$$

где су $\widetilde{y}$ - рачунска вредност зависно променљиве; $a$, $b_1$, $b_2$... $b_n$ - срачунате нумеричке вредности коефицијената вишеструке регресије.

Као најједноставнији модел, за потребе симулације (прорачуна) истицања карстних врела често се примењују ауторегресиони (АР) модели где зависно променљива је $Q_t$ - прогнозна вредност истицања у тренутку $t$, а независно променљиве $Q_{t-1}$, $Q_{t-2}$, ...$Q_{t-k}$ су истицања регистрована током 1, 2, ... $k$ претходних дана. Односно, у конкретном случају горња једначина добија следећи облик [1]:

$$Q_t = a + b_1 \cdot Q_{t-1} + b_2 \cdot Q_{t-2} + ... + b_k \cdot Q_{t-k}$$

где су $a$, $b_1$, $b_2$... $b_k$ параметри модела.

У конкретном случају, за потребе приказа АР симулационог модела одабрана су три карстна врела, једно типично гравитационо врело – Велико врело које дренира јужне делове Бељанице, затим једно интермитентно врело - врело Бање код Петнице и Гостиљско врело које дренира део карстне издани источног обода Златибора.

## 2. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОДАБРАНИХ ВРЕЛА

**Карстни систем Великог врела** налази се у оквиру комплекса карбонатних стена мезозојске старости Бељаничког масива. Вода истиче у дну дугачког сипара између великих кречњачких блокова у врху кратке и плитке долинице. Велико врело је типично гравитационо врело које се јавља на надморској висини од 415 mnm. Међутим, током максималних издашности, зона истицања се помера на веће надморске висине, када кота истицања достиже вредност 445 mnm. На овом врелу систематска осматрања отпочела су 1995. године и трајала су без прекида до марта 2001. године када су велике воде однеле водомерну летву, која након проласка поплавног таласа није враћена. На основу овог шестогодишњег периода може се закључити да је на нивоу године у просеку истицало 0.584 m$^3$/s воде, с тим да су се вредности кретале у интервалу од 0.477 m$^3$/s (2000) па до 0.762 m$^3$/s (1997). Апсолутно минимална дневна вредност истицања Великог врела забележена је у периоду од 5. до 7. септембра 1998. године у износ од свега 57 l/s, док је максимална вредност износила 5.6 m$^3$/s (28. јули 1997. године). Од изворишта ток тече у правцу југа, преко бигровитих наслага, да би се на око 200 m низводно од врела срушио низ бигрени водопад висок преко 20 m, по чему је ово врело и познато и представља често туристичку дестинацију [2, 3, 4 и 5].

**Карстни систем врела Бање** налази се на мање од 500 m од Истраживачке станице Петница и на око 7 km од Ваљева. Само врело извире из Петничке пећине, а јавља се на контакту масивних кречњака средњег тријаса и миоценских седимената изграђених од лапораца и битуминозних шкриљца. На сливу овог врела присутна су два површинска тока која након свог формирања веома брзо понирy (Златар губи воду у понору Пећурине док Буковик губи воду сукцесивно пратећи линијску појаву вртача) [6]. На врелу Бање мониторинг истицања успостављен је 1991. године и трајало је до краја 2000. године. У овом периоду апсолутни максимум је забележен 30. јула 1999. године у износу од 1.690 m$^3$/s, док је минимална издашност у износу од 0 l/s забележена више пута из разлога што је ово врело интермитентно. Средња вредност истицања врела за поменути осматрачки период износи 173 l/s [7].

**Карстни систем Гостиљског врела** припада сливу Гостиљског потока. До уливања Гостиљског врела (кота истицања врела је на 830 mnm), поток је повремен, а након тога формира се стални речни ток. Слив Гостиљског врела углавном је изграђен од кречњака тријаске старости. Режимска осматрања на овом врелу такође су отпочела 1995. године и трајала до 2006. године са једним тромесечним прекидом током 2004. године. На основу анализе података везаних за осматрачки период 1995-2006. године може се закључити да је средњи вишегодишњи протицај Гостиљског врела износио 0.126 m$^3$/s. Што се тиче апсолутних вредности, максимална дневна издашност забележена је више пута у износу од 610 l/s, док је апсолутно минимални протицај у износу од свега 10 l/s регистрован такође више пута током августа, септембра и октобра 2003. године [9].

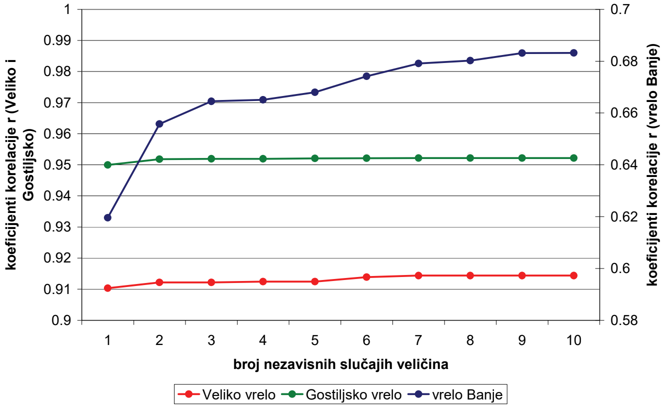
## 3. ПРИКАЗ ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА СА ДИСКУСИЈОМ

За потребе примене АР симулационог модела, на располагању су били десетогодишњи низови издашности врела Бање и Гостиљског врела, док код Великог врела осматрачки период је био нешто краћи, односно био је трајања 6 година. Примењен АР модел искоришћен је за случајеве када поред зависно променљиве величине (издашност $Q_i$) имамо једну независно променљиву величину (издашности $Q_{t-1}$), затим имамо две независно променљиве величине ($Q_{t-1}$ и $Q_{t-2}$) и тако редом до десет независно променљивих величина ($Q_{t-1}$, $Q_{t-2}$, ... $Q_{t-10}$). На основу добијених једначина срачунате су вредности истицања разматраних врела. Вредности коефицијената корелације између срачунатих и осмотрених вредности приказане су у табели 1 и на слици 1. Као генерални закључак може се констатовати да што има више независних променљивих величина у оквиру формиране једначине симулационог АР модела, коефицијенти корелације имају већу вредност. Овај пораст је скоро безначајан и углавном су разлике на трећој децимали (види табелу 1). Овде се поставља питање да ли је потребно користити сложене једначине са 10 независних променљивих или се може користити проста линеарна једначина само са једном независном променљивом величином. У прилог овоме говори и слика 2 на којој су приказани хидрограми осмотрених и срачунатих одгововарајућим АР симулационим моделом са 1 и 10 независних промењљивих величина и то на примеру Гостиљског врела. Изузетак су коефицијенти корелације АР модела са једном и са две независно промењљиве величине.

Такође, као закључак може се рећи да код узлазних врела где немамо велике амплитуде колебања истицања врела, коефицијенти корелације између осмотрених и срачунатих истицања имају највеће вредности, док код гравитационих дају нешто ниже вредности. Најниже вредности коефицијента корелације добили смо код симулације истицања врела Бање. Разлог је што је ово врело интермитентно, тако да је присутан велики број осмотрених вредности истицања у износу од 0 l/s. Из овог разлога вредности истицања добијене АР моделом у већој мери одступају од осмотрених вредности (слика 3).

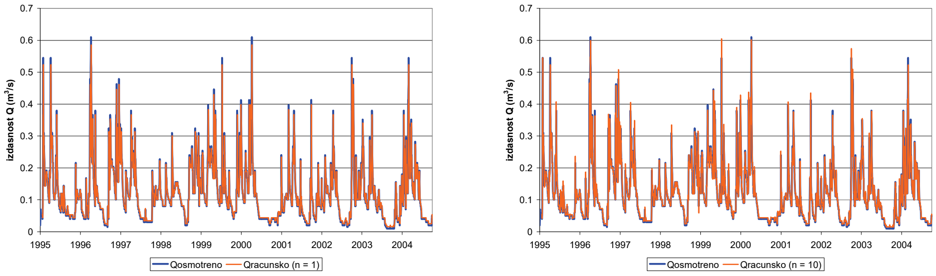
**Табела 1:** Коефицијенти корелације између осмотрених и уз помоћ АР модела срачунатих вредности истицања за разматрана карстна врела и за различити број независно промењљивих величина

| карстно врело/ број независно промењљивих величина | врело Бање | Велико врело | Гостиљско врело |
|---|---|---|---|
| 1 | 0.619598 | 0.910293 | 0.949927 |
| 2 | 0.655765 | 0.912155 | 0.951793 |
| 3 | 0.66451 | 0.912192 | 0.951922 |
| 4 | 0.665078 | 0.912441 | 0.951922 |
| 5 | 0.668012 | 0.912447 | 0.952073 |
| 6 | 0.674194 | 0.913905 | 0.952106 |
| 7 | 0.679113 | 0.914346 | 0.952157 |
| 8 | 0.680218 | 0.914346 | 0.952167 |
| 9 | 0.683117 | 0.914347 | 0.952167 |
| 10 | 0.683174 | 0.914388 | 0.952171 |

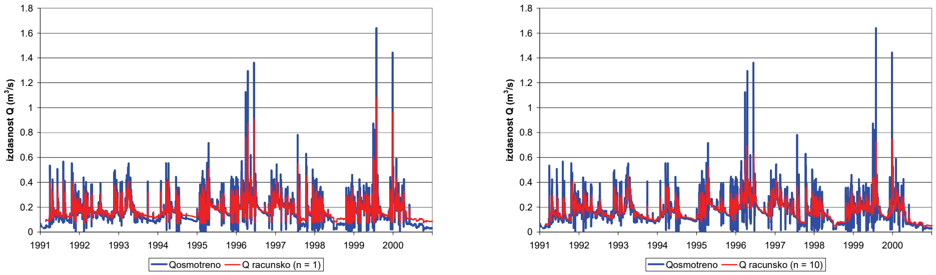


**Слика 1:** Зависност коефицијената корелације између осмотрених и уз помоћ АР модела срачунатих вредности истицања за разматрана карстна врела и за различити број независно промењљивих величина

Како је чест случај да поседујемо само годину дана осматрања издашности неког врела чији мониторинг је био успостављен за потребе израде неког елабората, студије или пројекта, у даљем тексту ће се дати кратак осврт на резултате који су добијени применом АР модела за симулацију истицања Великог врела за временски интервал у износу од годину дана. У ову сврху узете су репрезентативне године и то 2000. година као сушна и 1997. година као влажна. У табели 2 дате су вредности коефицијената корелације добијених на основу срачунатих и осмотрених истицања коришћењем АР модела за случајеве када имамо од 1 до 10 независних променљивих величина. Добијени резултати указују на то да коефицијенти корелација за сушне године имају више вредности док за кишне године имају ниже вредности у односу на добијене коришћењем укупног доступног осматрачког низа.



**Слика 2:** Упоредни дијаграми срачунатих и осмотрених вредности истицања карстног Гостиљског врела за случај примењеног АР модела са једном (слика лево) и са 10 независних случајних величина (десно)



**Слика 3:** Упоредни дијаграми срачунатих и осмотрених вредности истицања карстног врела Бања за случај примењеног АР модела са једном (слика лево) и са 10 независних случајних величина (десно)

**Табела 2:** Коефицијенти корелације између осмотрених и уз помоћ АР модела срачунатих вредности истицања за разматрана карстна врела и за различити број независно променљивих величина

| карстно врело/ број независно променљивих величина | Велико врело влажна година 1997. | Велико врело укупни период | Велико врело сушна година 2000. |
|---|---|---|---|
| 1 | 0.826401 | 0.910293 | 0.958037 |
| 2 | 0.82643 | 0.912155 | 0.961426 |
| 3 | 0.826705 | 0.912192 | 0.961613 |
| 4 | 0.827884 | 0.912441 | 0.961691 |
| 5 | 0.827885 | 0.912447 | 0.962646 |
| 6 | 0.838279 | 0.913905 | 0.962851 |
| 7 | 0.839232 | 0.914346 | 0.963079 |
| 8 | 0.839232 | 0.914346 | 0.963079 |
| 9 | 0.839803 | 0.914347 | 0.964595 |
| 10 | 0.840242 | 0.914388 | 0.964596 |

## 4. ЗАКЉУЧАК

Чест случај је да иако имамо успостављен мониторинг истицања карстних врела, немамо успостављен плувиографски режим карстних масива које ова врела дренирају. У овим случајевима није могуће дефинисати било који модел који има у себи успостављање везе падавина – истицање, или модел који се базира на трансформацији падавина у отицај (истицање). У овим случајевима, могуће је користити једино ауторегресионе моделе који представљају и најједноставније регресионе моделе са једном или више независних случајних величина. Сврха АР модела је да покаже на који начин и у којој мери утичу јучерашњи отицаји у формирању данашњег отицаја, или јучерашњи и прекјучерашњи отицаји на данашњи, односно јучерашњи, прекјучерашњи, ... и они који су измерени пре 10 дана на данашњи отицај. Добијени АР модели срачунати за истицања врела Бање, Великог и Гостиљског врела и то за случајеве када имамо 1, 2, 3, ... 10 независних случајних величина указују на то да срачунате вредности добро прате осмотрене. Са порастом броја независних величина коефицијенти корелације расту али безначајно тако да је препорука да се користе регресиони модели са једном, две или максимално 3 независне случајне величине. Такође, приказане анализе су указале да боља корелисаност срачунатих и осмотрених истицања се добија код узлазних врела у односу на гравитациона. Уколико примењујемо АР модел за случај да имамо осматрачки низ од једне године, треба имати у виду да коефицијенти корелација, односно боља преклапања осмотрених и срачунатих вредности се добијају за случајеве када су у питању сушне године у односно на влажне године.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Ristić Vakanjac V. (2015). Forecasting Long-Term Spring Discharge, In Monography: Karst Aquifers – Characterization and Engineering (Stevanović Z. ed), Series: Professional Practice in Earth Science, pp 435-454. Springer International Publishing Switzerland.

[2] Milanović S., 2010: Formiranje fizičkog modela karstne izdani na primeru Beljanice – Istočna Srbija, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd

[3] Ristić Vakanjac V., Stevanović Z., Polomčić D., Blagojević B., Čokorilo M., Bajić D. (2013): Određivanje dinamičke zapremine i bilans karstnih izdanskih voda Velikog vrela (Južna Beljanica), Časopis Vodoprivreda (Ed. Branislav Đorđević), br. 261-263, str. 97-110, Publisher: Srpsko Društvo za navodnjavanje i odvodnjavanje

[4] Milanović S., Vasić Lj. 2014: Izveštaj monitoringa Velikog vrela u Spomeniku prirode „Lisine“, Departman za hidrogeologiju, RGF, Beograd

[5] Ristić Vakanjac, V., Čokorilo Ilić, M. Milanović, M., Jovanov, K., Vasić, Lj., 2016: Autocorrelation analyses of karst spring discharges regimes, III Congres of geologist of Republic Macedonia with international participiant, (ed Sonja Lepitkova and Blažo Boev), Macedonia, Struga, pp. 85-92

[6] Golubović R., Ristić Vakanjac V., Papić P., (2014). *Uticaj padavina na hidrohemijski režim vrela Banje kod Petnice*, Zbornik Srpskog geološkog društva (*Ed. Zoran Stevanović*), str. 145-158, SGD

[7] Ristić Vakanjac, V., Papić, P., Golubović, R., Vakanjac, B., Čokorilo Ilić, M., Jokić, M., 2015: Karst groundwater budget and discharge regime of Banja Spring near Petnica, Journal of Geographical Institute "Jovan Cvijic", SANU, Vol. 65/1, pp 19-32, ISSN 0350-7599, DOI:10.2298/IJGI1501019R,

[8] Ristić Vakanjac V., Čokorilo Ilić M., Polomčić D., Bajić D., Vojvodić N., (2016), Analiza režima i bilans Gostiljskog vrela, XV Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Rudarsko-geološki fakultet, Univerzitet u Beogradu, pp. 441-446, Kopaonik, Srbija

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА АУТОКОРЕЛАЦИОНЕ АНАЛИЗЕ ИЗДАШНОСТИ ВРЕЛА СА ЦИЉЕМ РАЗУМЕВАЊА КАРСТНИХ ХИДРОГЕОЛОШКИХ СИСТЕМА

# APPLICATION OF AUTOCORRELATION ANALYSIS OF SPRING YIELD WITH THE PURPOSE OF UNDERSTANDING THE KARST HYDROGEOLOGICAL SYSTEM

ВЕСНА РИСТИЋ ВАКАЊАЦ[1], ВЕЉКО МАРИНОВИЋ[1], САША МИЛАНОВИЋ[1], ЉИЉАНА ВАСИЋ[1], БРАНИСЛАВ ПЕТРОВИЋ[1], ПЕТАР ВОЈНОВИЋ[1], РАДИСАВ ГОЛУБОВИЋ[2]

[1] Универзитет у Београду, Рударско-Геолошки факултет, Београд, vesna.ristic@rgf.bg.ac.rs; veljko.marinovic@rgf.bg.ac.rs; sasa.milanovic@rgf.bg.ac.rs; ljiljana.vasic@rgf.bg.ac.rs; branislav.petrovic@rgf.bg.ac.rs, petar.vojnovic@rgf.bg.ac.rs
[2] Истраживачка станица Петница, Ваљево, golub@petnica.rs

---

***Резиме:*** *Карстна издан у највећој мери се прихрањује на рачун падавина. Међутим, чест случај је да режимска осматрања истицања појединих врела, не прате и осматрања метеоролошких параметара (на првом месту падавина, дебљине снежног покривача и температуре ваздуха). У овим случајевима аутокорелационе анализе нам умногоме могу помоћи да разумемо сам механизам истицања карстног врела, да ли се ради о узлазном или силазном режиму истицања, као и да имамо информацију о томе какве су анализиране године биле (сушне или кишне) и да ли су биле са значајније формираним снежним покривачем. У вези са овим, у раду су дати резултати аутокорелационих анализа режима истицања три одабрана карстна врела: врело Бање, Босне и Андрића врело. Анализе су извршене за укупне осматрачке периоде који су код сва три врела трајања око 10 година, и за одабране влажне и сушне године.*

***Кључне речи:*** *режим, карстно врело, истицање, аутокорелација, врело Босне, врело Бање*

***Abstract:*** *Karst is largely recharged by precipitation. However, it is often the case that monitoring of karst spring discharge is not followed by monitoring of meteorological parameters (primarily rainfalls, snow cover thickness and air temperature). In these cases, autocorrelation analyzes can greatly help us to understand the mechanism of karst spring discharge, whether it is an ascending or descending discharge regime, as well as to have information about what the analyzed years were like (dry or rainy) and whether were with significant snow cover. Regarding this, the paper presents the results of the autocorrelation analysis of the discharge regime of three selected karst springs: the Banja spring, the Bosna spring and the Andrića vrelo spring. The analyzes were performed for the total observation periods, which are about 10 years for all three springs, and for selected wet and dry years.*

***Keywords:*** *regime, karst spring, discharge, autocorrelation, Bosna karst spring, karst spring Banja*

---

## 1. УВОД

Подземне воде представљају невидљиви али изузетно значајан водни ресурс. У свету, скоро 50% светске популације задовољава своје потребе на рачун овог ресурса (водоснабдевање, индустрија, наводњавање) [1]. У Србији, сваке секунде са око 23 $m^3$ захваћених подземних вода, око 75% становништва задовољава своје потребе у води за пиће [2, 3]. Највеће резерве подземних вода а уједно и количине вода које се користе за потребе водоснабдевања у нашој земљи потичу из алувијалних наслага великих речних токова. Следе карстне подземне воде на рачун којих градови и мања места источне и западне Србије су решили проблеме водоснабдевања. Међутим, мониторинг карстних изданских вода у највећој мери није присутан или је успостављен на нивоу једне године за потребе израде одређених елабората, студија, пројеката, тако да често нису доступне информације о величини слива, резервама подземних вода (динамичке и статичке, ако их има), билансу подземних вода, итд. За добијање ових информација потребна су детаљна хидрогеолошка истраживања и дуготрајно праћење истицања из карстних врела.

Чест случај је да, иако је успостављен мониторинг истицања на неком карстном врелу, сама сливна површина овог врела није покривена кишомерним, плувиографским односно метеоролошким станицама. Разлог овоме је чињеница да карстна врела дренирају углавном карстне планинске масиве који су понекад тешко приступачни и ненасељени, тако да до појаве соларних панела и дигиталних аутоматских метеоролошких станица, није било могуће осматрати плувиографски режим ових области. У овим случајевима, уколико имамо довољно дуге осматрачке низове истицања карстног врела, а немамо података о падавинама (киши и формирању снежног покривача) постоје статистичке методе које нам могу помоћи да дођемо на пример до информација да ли се ради о водним или сушним годинама, затим о каквом је врелу реч, итд. Једна од ових метода је и аутокорелациона анализа.

Под аутокорелацијом подразумевамо утицај случајно променљиве $X$ на саму себе за временски помак у износу од 1, 2, 3, ..., $n$. Најчешће коришћен временски корак је један дан, међутим, може бити и изражен у седмицама, декадама, месецима, ... У хидрогеологији карста најчешће се користи код анализа режима истицања карстних врела, а заснива се на чињеници да данашња, односно тренутна вредност истицања карстног врела је условљена јучерашњом вредности, затим вредности забележеном пре два, три, четири дана, итд. Јачина везе између, на овај начин формираних серија дефинише се уз помоћ коефицијента корелације $r$, а израз који користимо за његово одређивање је следећи [4, 5]:

$$r_k = \frac{\dfrac{1}{n-k}\sum_{i=1}^{n-k}\left(x_i - x_{av}\right)\cdot\left(x_{i+k} - x_{av}\right)}{\dfrac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - x_{av}\right)^2} \qquad (1)$$

где су: $n$ - укупан број осмотрених података, $x_{av}$ - средња вредност узорка и $x_i$ вредност случајно променљиве у тренутку $t = i + k$. Зависност добијених вредности коефицијената корелације за различите временске помаке у функцији временских помака називамо аутокорелограмом. Коефицијент корелације на временски помак 0 има вредност 1, а након тога за временски помак 1, 2, ... ова вредност опада до 0, односно може бити и негативна (теоријска максимална негативна вредност коефицијента корелације износи -1). За серију коју анализирамо кажемо да је аутокорелациона до тренутка док вредност коефицијента корелације не постане мања од 0.2 ($r$ < 0.2) [6].

Нагиб аутокорелограма зависи на првом месту од режима параметра $X$ који се анализира, брзине његовог пораста односно пада, као и од односа апсолутно максималне и минималне регистроване забележене вредности овог параметра. Што је овај однос ближи јединици то је степен међузависности већи а аутокорелациона функција има блажи нагиб, тако да за ову серију кажемо да има дуготрајну меморију и да случајно променљиве величине анализиране серије су међусобно условљене и повезане.

У обрнутом случају када је овај однос 100 и више, имамо аутокорелограме стрмог карактера [5]. За случај када су аутокорелограми изузетно стрмог карактера, кажемо да је анализирана серија без меморије, да је независна и да није аутокорелациона. Такође, на режим квантитативних и квалитативних параметара утиче и тип/врста падавина (снег, киша), затим њихова учесталост и интензитет. Даље, од метеоролошких параметара је и температура ваздуха битна и то током зимских месеци прелазак из негативне у позитивну температуру утиче на отапање снежног покривача, а током целе године утиче на евапотранспирацију [7, 5].

У конкретном случају, за потребе приказа поменутих анализа одабрана су три карстна врела, једно типично гравитационо врело – врело Бање код Петнице, и једно типично узлазно врело – Андрића врело које дренира источне делове Златибора и врело Босне које је такође асцедентно / узлазно али се највећим делом прихрањује на рачун отапања снежног покривача. Начин истицања као и прихрањивања је свакако био приоритетан при одабирању ових карстних врела.

## 2. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОДАБРАНИХ ВРЕЛА

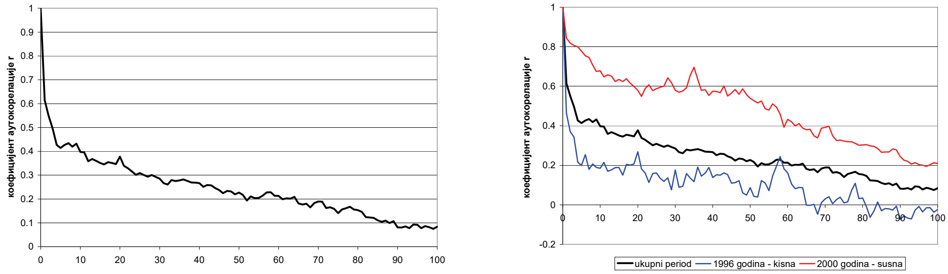
**Карстни систем врела Бање** налази се у западној Србији, у непосредној близини истраживачке станице Петница и удаљено је ваздушном линијом око 7 km у правцу исток-југоисток. Надморска висина слива креће се од 181 mnm (кота истицања врела Бање) па до нешто мало преко 600 mnm. Највећи део сливног подручја изграђен је од масивних кречњака средњег тријаса који су једним делом покривени миоценским седиментима које чине лапорци и црвени битуминозни шкриљци. Од подземних, најзначајнија је Петничка пећина која уједно и представља место појављивања врела Бање. На сливу врела Бања присутна су два површинска водотока: Златар који понире у понору Пећурине и Буковик који прати линијски правац појављивања вртача и постепено губи воду до тренутка када корито остаје потпуно суво [8, 5]. На врелу Бање успостављена су режимска осматрања квантитативних и квалитативних параметара 1991. године и трајала су 10 година. Што се тиче истицања карстног врела, дијапазон средње годишњих вредности се креће у интервалу од 109.7 l/s (2000. година) па до 252.3 l/s (1996. година). Средња вишегодишња вредност истицања врела Бање за осматрачки период износи 173 l/s. Максимална забележена дневна количина истеклих вода је 1.690 $m^3/s$ (30. јули 1999)[8]. Минимална издашност је забележена у износу од 0 l/s из разлога што је ово врело интермитентно.

**Карстни систем Андрића врела** се налази у западном делу Републике Србије и према административној подели припада територији Златибора. Изворе на 490 mnm у кориту реке Приштавице и то на самом излазу Приштавице из клисуре, а у непосредној близини села Равни. У периоду мониторинга (1995-2004) средњи годишњи проток Андрића врела износио је 1.157 $m^3/s$. Апсолутни максимум је 3.417 $m^3/s$, забележен у априлу 1996. године, а апсолутни минимум 0.287 $m^3/s$ забележен августа 1998. Познато је да је слив изграђен од карбонских псамитско-пелитних седимената, тријаских карбонатних формација, јурских наслага дијабаза и рожнаца и квартарних седимената [9].

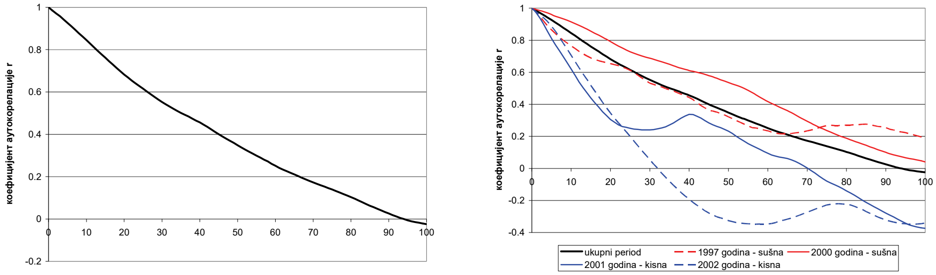
**Карстни систем врела Босне** налази се у централном делу Босне и Херцеговине, у подножју планина Игман и Бјелашница, а у непосредној близини Сарајева. Игман и Бјелашница представљају две доминантне геоморфолошке целине на истражном простору, са надморском висином која достиже 2067 m, колико износи највиши врх Игмана. Идући на север, надморске висине се смањују, све до 476 m, колико износи хипсометријски најнижа тачка на истражном терену. Клима сливног подручја је и условљена овим планинским масивима, тако да се истражно подручје одликује оштрим и дугим зимама са присутним значајнијим снежним покривачем који је током појединих година присутан и по 10 месеци на највишим котама слива а дебљине формираног снежног покривача током зимских месеци често прелазе 2 па и 3 метра. У периоду мониторинга (2010-2019) средњи годишњи проток врела Босне износио је 5.48 $m^3/s$. Апсолутни максимум је 21.6 $m^3/s$, забележен у јануару 2010. године, а апсолутни минимум 1.27 $m^3/s$ забележен у октобру 2000. године [10].

## 3. ПРИКАЗ ДОБИЈЕНИХ РЕЗУЛТАТА СА ДИСКУСИЈОМ

Аутокорелациона анализа режима истицања примењује се прво анализом укупног доступног периода, што у конкретном случају код сва три врела износи око 10 година, а затим за сваку календарску или хидролошку годину понаособ (1. октобар претходне – 30. септембар анализиране године). У конкретном случају аутокорелограм укупног периода и одабраних кишних и сушних година за врело Бање је дат на слици 1, за Андрића врело на слици 2 и за врело Босне на слици 3. Упоредном анализом добијених резултата приказаних аутокорелограма за укупан период, јасно се види да је функција аутокорелације врела Бање знатно стрмијег карактера у односу на добијене за Андрића врело и врело Босне, која је последица режима истицања. Аутокорелограм Андрића врела има велику аутокорелативност серије истицања, односно има дугу меморију серије која траје 66 дана и резултат је релативно уједначеног режима истицања овог врела (однос $Q_{max} : Q_{min} = 12 : 1$). Насупрот овоме, аутокорелограм врела Бање је знатно стрмијег карактера, где за корак од 0 до 5 има коефицијенте корелације преко 0.4, а након тога мења нагиб аутокорелограма па вредност коефицијента корелације полако опадају све до корака од 100 дана када *r* има вредност нешто мало нижу од 0.1.



**Слика 1:** Аутокорелограми врела Бање за укупни период (лево) и за сушну и влажну годину (десно)

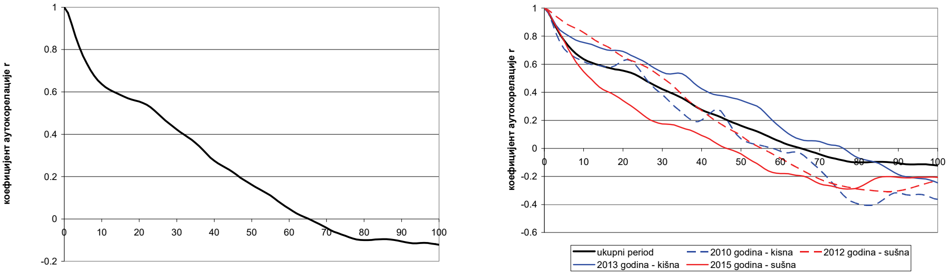


**Слика 2:** Аутокорелограми Андрића врела за укупни период (лево) и за сушне и влажне године (десно)

Слични облик аутокорелограма се добија и анализом спроведеном за нивоу календарске године. Оно што је карактеристично за сушне године је да аутокорелограми имају веће вредности у односу на добијене анализом укупног периода. Тачније, серија је боље аутокорелисана, а меморија система дужег трајања. Ово је нарочито изражено код врела Бање, где коефицијент аутокорелације за сушну годину за временски померај од 100 дана има вредност и даље вишу од 0.2 док иста вредност за укупни период и за исти временски померај износи 0.05. Слична ситуација је и код Андрића врела, и за одабране две карактеристичне сушне године добијамо да је аутокорелативност система све до 79. дана (2000. година) односно дужа од 100 дана (за 1997. година). У суштини, аутокорелограм за 1997. годину прати аутокорелограм за укупни период у првом делу, али након 63 дана долази до пораста вредности *r* која је највероватније резултат снежних падавина које су се у виду снежног покривача задржале на сливу око два месеца а након тога дошло је до њиховог отапања односно прихрањивања карстних изданских вода чиме је дошло до пораста хидрограма. Дужа меморија код аутокорелограма који су карактеристични за сушне године су резултат режима истицања током ових дужих периода без падавина, где не долази до мењања режима истицања, тачније има благи тренд опадања, а истицање се врши на рачун постојећих динамичких резерви формираних у карстном масиву.

Насупрот овоме, одабране серије карактеристичне за влажну годину код оба врела указују да су меморије серија знатно краћег трајања: код врела Бање меморија серије иде до 7 дана а код Андрића врела иде до 25 (2002. година) односно 52 дана (2001. година). Краће меморије се могу објаснити чињеницом да је прихрањивање издани на рачун падавина значајније и релативно континуално током влажних година, што узрокује кретање подземних вода кроз пукотине и карстне системе већих размера. Последица овога је брза пропагација падавина што резултира брз и нагли, скоро скоковит пораст хидрограма истицања.

На оба аутокорелограма карактеристичних влажних година код Андрића врела присутан је пик који се јавља 2001. године након 40 дана, односно 2002. године након 78. дана. Оба пика су последица већ поменутог отапања снежног покривача, који је формиран током зимских месеци.



**Слика 3:** Аутокорелограми врела Босна за укупни период (лево) и за сушне и влажне године (десно)

Што се тиче врела Босне, аутокорелограм укупног периода сличног је нагиба као и код Андрића врела, што указује на чињеницу да је и врело Босна врело узлазног типа истицања. Нешто краћа меморија система која иде до 47 дана, односно нешто стрмији аутокорелограм нам говори да је амплитуда колебања истицања, односно однос $Q_{max}$:$Q_{min}$ већи, што и јесте случај. Прецизније, однос који за Андрића врело износи 12:1, код врела Босне износи 17:1. Међутим, оно што издваја ово врело је аутокорелациона анализа појединачних година. Тачније, овде добијамо аутокорелограме чији резултати су у супротности са резултатима које смо добили за сушне и влажне године анализом истицања врела Бање и Андрића врела. Дакле, по истом принципу, одабрали смо по две типично сушне и кишне године. По правилу, код сушних година систем би требало да има дужу меморију, што у конкретном случају није случај ни за 2015. годину када је меморија трајања 27 дана, ни за 2012. годину када је меморија нешто дужег трајања (44 дана), али је ипак краћа од трајања меморије система за укупни период (47 дана). Слична ситуација је и са кишним годинама, уместо да добијемо знатно краће меморије када су у питању влажне године, за одабрану кишну 2010. годину меморија система је трајања идентичног као и код укупног периода (47 дана), а за 2013. годину је чак 58 дана што је 11 дана дуже него за укупни период. У прилог овоме говори чињеница да прихрањивање карстног врела Босна је на рачун отапања снежног покривача. Пикови који су присутни на хидрограму великих вода нису углавном последица киша, већ отапања снежног покривача или коинцидиране/истовремене појаве отапања снега и појава киша јачег интензитета. Како отапање снежног покривача углавном иде постепено (у питању су висине снежног покривача које достижу дебљине и преко 3 m током зимских месеци), тако имамо и постепено прихрањивање ове карстне издани. Резултат овога је да током пролећних месеци имамо углавном један или два изражена пораста хидрограма који у оквиру себе имају више формираних пикова који су последица температура у пролећним месецима, односно значајнији скокови температуре утичу на значајнија и бржа отапања снега док осцилације око 0 утичу углавном на отапање снежног покривача у својим доњим деловима који се у оквиру карстних терена инфилтрирају у подземље и на овај начин врше прихрањивање издани.

## 4. ЗАКЉУЧАК

За сливове које дренирају карстна врела, често, због ненасељености ових делова немамо добру покривеност кишомерним/метеоролошким станицама, тако да је у овим случајевима немогуће извршити анализу утицаја падавина (киша и снег) на режим истицања карстних врела. Уколико постоји мониторинг режима истицања карстног врела, могу се применити аутокорелационе анализе самог режима истицања. С тим у вези, аутокорелациону анализу је потребно извршити за укупни доступни период, као и за сваку календарску годину понаособ. Аутокорелограми укупних периода нам могу указати о ком типу врела је реч (гравитационо или узлазно) док аутокорелограми сваке године појединачно нам могу указати са ли је година била сушна, влажна са формираним снежним покривачем или без њега. На крају напомињемо да треба бити обазрив у доношењу закључака код врела која се највећим делом прихрањују на рачун отапања снежног покривача.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] United Nations, The United Nations World Development Report 2022, *Groundwater: Making the invisible visible*, UNESCO, Paris.

[2] Стевановић З., Докмановић П. (2015). *Пројекат проширења мрееж станица подземних вода у Србији*, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Департман за хидрогеологију, фондовска документација

[3] Поломчић Д., Васић Љ., Милановић С., Ристић Вакањац В., Петровић Б., Мариновић В., Бајић Д., Хајдин Б., Чокорило Илић М., Ратковић Ј. (2022). *Водоснбадевање – подземне воде и одрживо управљање ресурсима*, Монографија: 50 година ДЕПАРТМАНА ЗА ХИДРОГЕОЛОГИЈУ (уредник Поломчић Д., Врањеш А., Живановић В. и Васић Љ.), Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, стр. 67-110

[4] Kresic N., Stevanovic Z. (2010). Groundwater hydrology of springs: engineering, theory, management and sustainability, Amsterdam, Boston, Butterworth-Heinemann, 573p

[5] Ristić Vakanjac V. (2015). *Forecasting Long-Term Spring Discharge, In Monography: Karst Aquifers – Characterization and Engineering* (*Stevanović Z. ed*), Series: Professional Practice in Earth Science, pp 435-454. Springer International Publishing Switzerland

[6] Mangin A., (1984). Pour une meilleure connaissance des systemes hydrologiques a partir des analyses correlatioire et spectrale. Journal of Hydrology, v. 67, pp. 25-43

[7] Eisenlohr L., Kiraly I., Bouzelboudjen M., Rossier I. (1997). Numerical versus statistical modeling of natural response of a karst hydrogeological system, J. Hydrol, 202, 244-262

[8] Čokorilo Ilić M., Ristić Vakanjac V., Polomčić D., Bajić D., Ratković J., Hajdin B. (2018). *Mathematical modeling to define catchment size and real evapotranspiration (case study: Andrića karst spring, Western Serbia)*, Review of the Bulgarian geological society, Geoscience 2018, Bulgarian Geological Society, pp 135-136, ISSN 0007-3938

[9] Golubović R., Ristić Vakanjac V., Papić P., (2014). *Uticaj padavina na hidrohemijski režim vrela Banje kod Petnice*, Zbornik Srpskog geološkog društva (*Ed. Zoran Stevanović*), str. 145-158, SGD

[10] Мариновић В. (2023). Регионална карактеризација карстних подземних вода дела централног Балкана у функцији њиховог одрживог коришћења и менаџмента, Докторска дисератција, Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, стр 375

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ЈЕДНОКРИТЕРИЈУМСКИ ПЛАН СНАБДЕВАЊА КРЕЧЊАКОМ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКОГ КОМПЛЕКСА

# ONE-CRITERION LIMESTONE SUPPLY PLAN OF THE THERMAL ENERGY COMPLEX

ЖЕЉКО ПРАШТАЛО[1], МАРИЈА КУЗМАНОВИЋ[2], ПАВЛЕ СТЈЕПАНОВИЋ[1],
РАДЕ ШАРАЦ[1], ЈАСМИНА НЕШКОВИЋ[1]

[1]Рударски институт Београд, zeljko.prastalo@ribeograd.ac.rs
[2]Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

---

***Резиме:*** *Овај рад је тематски наставак рада „Вишеатрибутно рангирање снабдевача кречњаком термоенергетског комплекса“, у коме је представљено једнокритеријумско моделовање снабдевања кречњаком у условима променљиве структуре термоенергетског комплекса Србије. На крају текста дата је анализа разлика вишеатрибутних и једнокритеријумских решења.*

***Кључне речи**: једнокритеријумска оптимизација, снабдевање, површински коп, кречњак, разлике решења*

***Abstract:*** *This paper is the thematic continuation of the paper "Multi-attribute ranking of limestone suppliers of the thermal energy complex", in which the single-criteria modeling of limestone supply in the conditions of the changing structure of the thermal energy complex of Serbia is presented. At the end of the text, an analysis of the differences between multi-attribute and single-criteria solutions is provided.*

***Keywords:** single-criteria optimization, supply, surface mining, limestone, solution differences*

---

## 1. УВОД

У раду „Вишеатрибутно рангирање снабдевача кречњаком термоенергетског комплекса“ истиче се да је одсумпоравање димних гасова из термоенергетских постројења на угаљ у жижи стручног и научног интересовања. У Србији је то проблем на чијем се решавању интезивно ради. Бројна су лежишта кречњака задовољавајућег квалитета, међутим снабдевање кречњаком као сорбентом за уклањање сумпора из димних гасова из постројења термоенергетског комлекаса Србије, није упрошћено већ инвентивно аналитичко питање између квалитета сировине, потреба, производње, транспорта и трошкова.

У раду „Вишеатрибутно рангирање ентитета за снабдевање кречњаком у условима променљиве структуре термоенергетског комплекса“ описан је проблем и структура комплекса, те је непотребно то овде понављати. У наставку су приказани једнокритеријумски модели снабдевања кречњаком за сва три сценарија, и упоређење вишеатрибутних и једнокритеријумских решења.

## 2. МОДЕЛ РЕАЛНОГ СИСТЕМА

У условима променљиве ентитетске структуре, максимална конфигурација производно-корисничког комплекса има 15 површинских копова потенцијалних снабдевача кречњаком и четири потрошача кречњака (термоелектране на угаљ). За конституисање једнокритеријумског модела снабдевања кречњаком, осим ентитетске структуре, мора бити познат циљ оптимизције и дефинисани услови (ограничења). У проблему снабдевања кречњком термоелектрана циљ је минимизација трошкова снабдевања, а услови: производне могућности (капацитети) површинских копова, захтеване количине, квалитет и цена (производни+трошкови транспорта) сировине. У наставку је дат нумерички модел реалног система, табела 1.

**Табела 1:** Нумерички модел реалног система

| ПОВРШИНСКИ КОП | **Капацитет** (t/год) | **Квалитет** ($CaCO_3$%) | ТЕРМОЕЛЕКТРАНА | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | T1 | | T2 | | T3 | | T4 | |
| | | | Потрошња кречњака (t/год) | | | | | | | |
| | | | 245.000 | | 270.000 | | 75.000 | | 285.000 | |
| | | | $c_{i,j}$ – цена (nj/t) , $x_{i,j}$ – испорука (t/год.) | | | | | | | |
| | | | $c_{i,j}$ | $x_{i,j}$ | $c_{i,j}$ | $x_{i,j}$ | $c_{i,j}$ | $x_{i,j}$ | $c_{i,j}$ | $x_{i,j}$ |
| ПК1 | 350.000 | 97,04 | 870,00 | $x_{1,1}$ | 760,00 | $x_{1,2}$ | 1490,00 | $x_{1,3}$ | 1400,00 | $x_{1,4}$ |
| ПК2 | 200.000 | 99,57 | 1.087,35 | $x_{2,1}$ | 1087,35 | $x_{2,2}$ | 833,43 | $x_{2,3}$ | 1.882,89 | $x_{2,4}$ |
| ПК3 | 50.000 | 98,38 | 1.291,56 | $x_{3,1}$ | 1291,56 | $x_{3,2}$ | 1291,56 | $x_{3,3}$ | 3.091,69 | $x_{3,4}$ |
| ПК4 | 800.000 | 98,50 | 1.318,49 | $x_{4,1}$ | 1275,31 | $x_{4,2}$ | 1145,8 | $x_{4,3}$ | 2.009,23 | $x_{4,4}$ |
| ПК5 | 1.000.000 | 97,54 | 1.341,56 | $x_{5,1}$ | 1341,56 | $x_{5,2}$ | 1341,56 | $x_{5,3}$ | 2.882,66 | $x_{5,4}$ |
| ПК6 | 150.000 | 94,39 | 1.408,49 | $x_{6,1}$ | 1408,49 | $x_{6,2}$ | 1235,8 | $x_{6,3}$ | 2.012,89 | $x_{6,4}$ |
| ПК7 | 162.000 | 97,97 | 1.424,83 | $x_{7,1}$ | 1295,31 | $x_{7,2}$ | 1511,17 | $x_{7,3}$ | 2.288,26 | $x_{7,4}$ |
| ПК8 | 300.000 | 97,00 | 1.444,83 | $x_{8,1}$ | 1272,14 | $x_{8,2}$ | 1531,17 | $x_{8,3}$ | 2.308,26 | $x_{8,4}$ |
| ПК9 | 280.000 | 95,19 | 1.242,14 | $x_{9,1}$ | 1112,63 | $x_{9,2}$ | 1198,97 | $x_{9,3}$ | 2.278,26 | $x_{9,4}$ |
| ПК10 | 300.000 | 97,04 | 1.096,66 | $x_{10,1}$ | 1096,66 | $x_{10,2}$ | 1096,66 | $x_{10,3}$ | 1.361,86 | $x_{10,4}$ |
| ПК11 | 333.000 | 97,29 | 1.391,86 | $x_{11,1}$ | 1391,86 | $x_{11,2}$ | 1391,86 | $x_{11,3}$ | 1.207,46 | $x_{11,4}$ |
| ПК12 | 300.000 | 95,34 | 1.255,31 | $x_{12,1}$ | 1341,66 | $x_{12,2}$ | 1039,46 | $x_{12,3}$ | 1.471,17 | $x_{12,4}$ |
| ПК13 | 900.000 | 94,96 | 1.198,16 | $x_{13,1}$ | 1198,16 | $x_{13,2}$ | 1198,16 | $x_{13,3}$ | 1.401,56 | $x_{13,4}$ |
| ПК14 | 750.000 | 97,02 | 1.198,16 | $x_{14,1}$ | 1198,16 | $x_{14,2}$ | 1198,16 | $x_{14,3}$ | 1.401,56 | $x_{14,4}$ |
| ПК15 | 400.000 | 96,06 | 1.450,00 | $x_{15,1}$ | 1450,00 | $x_{15,2}$ | 1.892,89 | $x_{15,3}$ | 930,00 | $x_{15,4}$ |

## 3. РЕЗУЛТАТИ

Резултати једнокритеријумске анализе снабдевања кречњаком по сценријима, приказани су у табелама 2, 3 и 4.

**Табела 2:** Сценарио А – резултат анализе

| **Површински коп** ($i$) | $x_{i,j}$ | | | $Q_i$ | $\Sigma x_{i,j}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Термоелектрана** ($j$) | | | | |
| | T1 | T2 | T4 | | |
| ПК1 | 80.000 | 270.000 | | 350.000 | 350.000 |
| ПК2 | 165.000 | | | 200.000 | 165.000 |
| ПК3 | | | | 50.000 | |
| ПК4 | | | | 800.000 | |

| **Површински коп** (*i*) | $x_{i,j}$ | | | $Q_i$ | $\Sigma\, x_{i,j}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Термоелектрана** (*j*) | | | | |
| | Т1 | Т2 | Т4 | | |
| ПК5 | | | | 1.000.000 | |
| ПК6 | | | | 150.000 | |
| ПК7 | | | | 162.000 | |
| ПК8 | | | | 300.000 | |
| ПК9 | | | | 280.000 | |
| ПК10 | | | | 300.000 | |
| ПК11 | | | | 333.000 | |
| ПК12 | | | | 300.000 | |
| ПК13 | | | | 900.000 | |
| ПК14 | | | | 750.000 | |
| ПК15 | | | 285.000 | 400.000 | 285.000 |
| $\Sigma\, x_{i,j}$ | 245.000 | 270.000 | 285.000 | | |
| $f(x)$ = 719.262.750,00 (nj) | | | | | |
| Квалитет кречњака 97,21 ($\mathrm{CaCO_3}$%) | | | | | |

**Табела 3:** Сценарио Б – резултат анализе

| **Површински коп** (*i*) | $x_{i,j}$ | | | $Q_i$ | $\Sigma\, x_{i,j}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Термоелектрана** (*j*) | | | | |
| | Т1 | Т2 | Т4 | | |
| ПК1 | 80.000 | 270.000 | | 350.000 | 350.000 |
| ПК2 | 165.000 | | | 200.000 | 165.000 |
| ПК3 | | | | 50.000 | |
| ПК4 | | | | 800.000 | |
| ПК6 | | | | 150.000 | |
| ПК7 | | | | 162.000 | |
| ПК8 | | | | 300.000 | |
| ПК9 | | | | 280.000 | |
| ПК10 | | | | 300.000 | |
| ПК11 | | | | 333.000 | |
| ПК12 | | | | 300.000 | |
| ПК13 | | | | 900.000 | |
| ПК14 | | | | 750.000 | |
| ПК15 | | | 285.000 | 400.000 | 285.000 |
| $\Sigma\, x_{i,j}$ | 245.000 | 270.000 | 285.000 | | |
| $f(x)$ = 719.262.750,00 (nj) | | | | | |
| Квалитет кречњака 97,21 ($\mathrm{CaCO_3}$%) | | | | | |

**Табела 4:** Сценарио В – резултат анализе

| **Површински коп** (*i*) | $x_{i,j}$ | | | | $Q_i$ | $\Sigma\, x_{i,j}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Термоелектрана** (*j*) | | | | | |
| | Т1 | Т2 | Т3 | Т4 | | |
| ПК1 | 80.000 | 270.000 | | | 350.000 | 350.000 |

| **Површински коп** (*i*) | $x_{i,j}$ | | | | $Q_i$ | $\Sigma x_{i,j}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Термоелектрана** (*j*) | | | | | |
| | Т1 | Т2 | Т3 | Т4 | | |
| ПК2 | 125.000 | | 75000 | | 200.000 | 200.000 |
| ПК3 | | | | | 50.000 | |
| ПК4 | | | | | 800.000 | |
| ПК5 | | | | | 1.000.000 | |
| ПК6 | | | | | 150.000 | |
| ПК7 | | | | | 162.000 | |
| ПК8 | | | | | 300.000 | |
| ПК9 | | | | | 280.000 | |
| ПК10 | 40.000 | | | | 300.000 | 40.000 |
| ПК11 | | | | | 333.000 | |
| ПК12 | | | | | 300.000 | |
| ПК13 | | | | | 900.000 | |
| ПК14 | | | | | 750.000 | |
| ПК15 | | | | 285.000 | 400.000 | 285.000 |
| $\Sigma x_{i,j}$ | 245.000 | 270.000 | 75.000 | 285.000 | | |
| $f(x)$ = 782.142.400,00 (nj) | | | | | | |
| Квалитет кречња 97,30 ($CaCO_3$%) | | | | | | |

За сва три сценарија, добијена су децидни оптимални планови снабдевања кречњаком. За сценаријо А и сценаријо Б су планови су еквивалентни, обустава производње површинског копа ПК5, због исцрпености рудних резерви (сценаријо Б), нема утицаја на оптимални план снабдевања кречњаком. Пуштање у рад термоелектране Т3 има извесног утицаја на план снабдевања, поред површинских копова ПК1, ПК2 и ПК15 који су у свим сценаријима снабдевачи, укључује се површински коп ПК10 са испоруком 40.000 тона кречњака годишње термоелектрани ТЕ1.

## 4. ПОРЕЂЕЊЕ РЕШЕЊА

Искуство примене квантитативних модела за подршку одлучивању, усмерава ка критичком односу, пожељност провере и упоређења моделских решења. Препоручљиво је да се у анализама примени бар два ако не више квантитативних модела. У случају колебања и не еквиваленције решења, пошто не располажемо метриком за оцену бољег, поступак избора решења, у пракси се често своди на субјективну процену доносиоца одлуке и његову опсервацију према једном од моделских приступа.

У студији планирања снабдевања кречњком за одсумпоравање димних гасова из термоелектрана на угаљ у Србији, примењен је вишеатрибутни и једнокритеријумски модел.

Према једнокритеријумском моделу за сценарија А и Б, тежиште снабдевања кречњаком термоенергетског комплеса је на површинским коповима ПК1, ПК2 и ПК15, а према вишеатрибутном моделу у тој функцији су површински копови ПК1, ПК2 и ПК10. За ове сценарије, према једнокритеријумском решењу цена кречњака је мања за 22,17%, а према вишеатрибутном кречњак је бољег квалитета за 0,47%.

За сценаријо В, присутна су извесна одступања у односу на резултате за сценарија А и Б. Према једнокритеријумском решењу површински копови ПК1, ПК2, ПК10 и ПК15, учествују у снабдевању термоенергетског комплеса, према вишеатрибутном моделу у тој функцији су ПК1, ПК2, ПК10 и ПК14. Према једнокритеријумском моделу снабдевања, цена кречањака је мања 21%, а према вишеатрибутном квалитет кречњака је бољи за 0,33%.

Осетно мање цене кречњака 22,17% и 21% једнокритеријумских у односу на вишетрибутна решења, и незнатно бољи квалитет кречњака за 0,47% и 0,33% код вишеатрибутних решења, определује за једнокритеријумска решења као повољнија.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Квантитативни модели у принципу успешно апроксимирају реалне услове, поузданост исходног решења не би требало везивати само за избор моделског приступа, већ и за процедуру поступка анализе и доношења одлуке.

Реултати вишеатрибутног и једнокритеријумског планирања снабдевања кечњаком за одсумпоравање диманих гасова у постројењима на угља термоенергтеско комплекса Србије, афирмишу и потврђују препоруку да када нема експлицитне преферентности према одрђеном квантиативном моделу за подршку одлучивању, због поузданости и потпунијег сагледавања алтернативности решења, сугерише се примена два или више модела. Разлике моделских резулатат које су извесне, могуће је премостити преферираним критеријумом, најчешће економетријским као овом случају ценом кречњака, пондерисањем или другим приступом. Захављујући рачунарској техници задатак је брзо и лако остварљив, а користи тешко мерљиве због аналитичке сигурности и боље видљивости проблема и решења.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Amankwah H.: Mathematical Optimization Models and Methods for Open-Pit Mining. Department of Mathematics Linköping University, Linköping, 2011, 38 p.

[2] Baidowi N., et al: A Cut-Off Grade Optimization Model in Open Pit Mining Considering Reclamation Cost and Revenue. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, pp. 1–8.

[3] Boševski T., Vujić S., Radosavljević M., Kuzmanović M.: Linear model of location optimization of limestone exploitation and consumption in Macedonia. Journal of Mining Science, Springer, Vol. 55, No.1, 2019, pp. 88-95.

[4] Vujić S., Ćirović G., Radojević D.: Mining systems production planning by fuzzy linear modeling. 26th International Symposium on Computer Application in the Mineral Industry, The Pennsylvania State University, USA, 1996, pp. 377-380.

[5] Vujić S., Ćirović G.: Production planning in mines using fuzzy linear programming. Yugoslav Journal of Operations Research, Vol. 6, № 2, 1996, pp. 205–215.

[6] Вујић С.: Квантитативни модели за подршку одлучвању у планирању и пројектовању у рударству. Рударски институ Беогрда, 2023, 254 стр.

[7] Radosavljvić M., Vujić S., Boševski T., Praštalo Ž., Jovanović B., Single-phase linear model of optimum supply limestone thermal power plants from the quarry of Serbia, Journal of Mining Science, Vol. 52, No. 4, 2016, pp. 704-711.

[8] Станојевић, Р.: Оптимизациони макроекономски модели, Велатра, Београд, 2001, 512 стр.

[9] Студија о могућности снабдевања кречњаком за потребе одсумпоравања димних гасова ТЕ Костолац, ТЕ Никола Тесла и нових термо капацитета, Рударски институт и Текон Београд, 2014, 228 стр.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# CHALLENGES FOR THE UNITED ENERGY SYSTEM OF UKRAINE UNDER THE CONDITIONS OF WAR

NATALIIA ANTONIUK[1], JOANNA KULCZYCKA[2], MICHAELA HARNIČÁROVÁ [3]

[1] Rivne Regional Institute of Postgraduate Pedagogical Education, Rivne, Ukraine,
antoniuknata2811@gmail.com
[2] Mineral and Energy Economy Research Institute of the Polish Academy of Sciences, Krakow, Poland,
kulczycka@min-pan.krakow.pl
[3] University of Prešov in Prešov, Presov, Slovakia, michaela.sirkova@unipo.sk

---

***Abstract***. *The article covers the state of the United Energy System of Ukraine in the pre-war period and in the midst of the war. It analyzes the state of development of the power system from 2014 up to 2021, which makes it possible to determine the state of the power system before the war and diagnose the challenges that appeared under the conditions of the war. It studies the state of the unified energy system of Ukraine, taking into account the caused damage and losses of capacities, including those in the occupied territories. It carries out diagnostics of nuclear, thermal, hydro, solar, wind and bio energy systems. The conducted analysis proved that the energy system of Ukraine faced a considerable failure in the form of destruction or damage of a significant part of the energy system facilities. On the basis of the identified patterns of industry development, it determined the strategic priorities for the development of the energy market with European countries based on the principles of synchronization in energy systems.*

***Keywords***: *the united energy system, under the conditions of war, Ukraine, national security*

---

## 1. INTRODUCTION

Under the conditions of nationhood, each country's energy system acts as a guarantor of stability and security. The energy system of Ukraine has a branched structure, including the interaction between all elements. The generating plants supply electricity to the general network. Afterwards, there is the stage of dividing and distributing electricity to consumers. Local transmission networks are connected to each other with nodal substations. That enables supplying electricity via alternative routes in case of failure in one of the networks. Therefore, the safety and uninterrupted work of the energy system for Ukraine is a crucial condition for the functioning and development of entrepreneurship, regions and the country overall.

Until 2014, Ukraine was completely dependent on the Russian Federation in terms of supplying nuclear fuel, natural gas, oil and petroleum products; loading transit routes; ensuring the stability of energy systems; selecting methods and mechanisms of mutual payments [1].

In order to escape the "trap" of energy dependence on the Russian Federation, new legislative acts were adopted in Ukraine during 2014–2017; that opened the way to introducing new models of mutual relations in the energy sector and prospects for the development of Ukrainian energy sector [2].

Internal and external threats as well as globalization processes make it necessary to solve a crucial research applied problem of restoring the energy stability and territorial integrity of Ukraine. Energy security is an important component of national security. The military aggression of the Russian Federation against Ukraine, the open war, which started on February 24, 2022, turned out to be a new major challenge for Ukraine's national, and in particular, energy security. The invasion of Russia into Ukraine is a part of the Russian-Ukrainian war started by Russia in 2014. Under the conditions of military aggression, there is an ever-growing increase in challenges for the functioning, stabilization and further development of the United Energy System of Ukraine (UES) [3].

The problem of energy supply is constantly the focus of every country in the world, and the ways of its solution are presented in numerous scientific works. Based on the identification of systemic problems of socio-economic development arising from the violation of the ecological and economic balance and ignoring the principles of sustainable development, it is important to identify the typical macroeconomic imbalances that the country is facing. The strategic priorities of sustainable development form the main directions of development, the prospective development of the national economy of Ukraine, aimed at achieving high rates of economic growth and reaching a qualitatively new level of socio-economic development in the 21st century [4].

A terrible war set new challenges in the ecological, economic and social life of Ukraine. First of all, heavy losses in the energy sector took place in the autumn-winter period of 2022-2023. As a result of military operations, a number of critically important objects of the energy system were damaged, and that negatively affected the functioning of all objects (economic, social, state) for an indefinite term. Thus, the Ukrainian state faces a challenge not only to ensure national security in the face of military aggression on the part of Russia, but also to be able to guarantee stable operation of the electric power industry under wartime conditions. This provides for the relevance of this research.

The article is aimed at studying the current state of the United Energy System of Ukraine, comparing its indicators with those of the pre-war period, and analyzing the challenges that arise under wartime conditions.

## 2. MAIN RESEARCH

Hence, the total installed capacity of the power plants of the United Energy System (UES) of Ukraine at the end of 2017 (without power-generating facilities of the Crimean Electric Power System) was 55,7 GW, 62,3% of which accounted for thermal power plants (TPP, CHP, block stations), 24.8% to nuclear power plants, 11,2% to hydroelectric power plants and hydro-accumulating power plants, and 1,7% to power plants operating on renewable energy sources, such as wind (wind turbine), solar (SPP), and bioelectric power plants (BioES) [3].

According to the data provided by NEC "Ukrenergo", as of the end of 2021, the total installed capacity of UES of Ukraine was estimated as 56,169 GW, 49,7% of which is accounted for thermal power plants (thermal power plants, combined heat and power production plants, block plants), 24,6% for nuclear power plants (NPP), 11,2% for hydroelectric power plants and hydro-accumulating power plants, 14,3% for the power plants, operating on RES - WPP, SES, BioPP (see Table 1).

**Table 1:** Installed capacity of power plants of UES, Ukraine, 2014-2021

| Year | Total installed capacity, kW | Nuclear power stations | | Thermal power stations, GK | | Combined heat and power production plants and thermal power stations | | Hydro-electric power stations; pumped-storage hydro stations | | Wind-power stations, solar power plants, BioPP | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | GW | % | GW | % | GW | % | GW | % | GW | % |
| 2014 | 55,1 | 13,8 | 25,1 | 27,7 | 50,3 | 6,6 | 12,0 | 2,9 | 10,6 | 1,1 | 2,0 |
| 2015 | 54,8 | 13,8 | 25,2 | 27,8 | 50,7 | 6,5 | 11,8 | 5,9 | 10,7 | 0,8 | 1,5 |
| 2016 | 55,3 | 13,8 | 25,0 | 27,8 | 50,3 | 6,5 | 11,8 | 6,2 | 11,2 | 1,0 | 1,7 |
| 2017* | 51,8 | 13,8 | 26,7 | 24,6 | 47,5 | 6,0 | 11,5 | 6,2 | 11,2 | 1,2 | 2,3 |
| 2017** | 55,7 | 13,8 | 24,8 | 27,9 | 50,0 | 6,5 | 11,6 | 6,2 | 11,2 | 1,3 | 2,4 |
| 2018* | 49,7 | 13,8 | 27,8 | 21,8 | 43,9 | 6,1 | 12,3 | 6,2 | 12,6 | 1,7 | 3,4 |
| 2019* | 54,4 | 13,8 | 25,4 | 21,8 | 40,0 | 6,1 | 11,2 | 6,3 | 11,6 | 6,4 | 11,8 |
| 2020* | 54,7 | 13,8 | 25,2 | 21,8 | 39,8 | 6,1 | 11,1 | 6,3 | 11,5 | 6,6 | 12,1 |
| 2021* | 56,11*** | 13,8 | 24,6 | 21,8 | 38,8 | 6,1 | 10,8 | 6,3 | 11,2 | 8,1 | 14,3 |

Note: * – the data are given without taking into account the territory of Donetsk and Luhansk regions not controlled by Ukraine; ** – the data are given taking into account the territory of Donetsk and Luhansk regions not controlled by Ukraine; *** – without taking into account 394.8 MW of industrial RES facilities, which obtained a "green" tariff, but currently they do not generate "green" electricity and 1,205 MW of domestic power plants (according to the data of NCRECP) [5].

Therefore, the main generating capacities of UES of Ukraine are focused on:

- 4 nuclear power plants (15 power units, 13 of which with a capacity of 1,000 MW and one power unit each with a capacity of 415 and 420 MW);
- cascades of 7 hydroelectric power plants on the Dnipro and Dniester rivers with a total number of 94 hydropower units, as well as 3 hydroaccumulating power plants (11 GA with a capacity from 37 MW to 324 MW);
- 12 TPPs of generating companies with 83 power units with a unit capacity of 150, 200, 300, 800 MW (150 MW - 6 units, 200 MW - 32, 300 MW - 38, 800 MW - 7);
- 3 large CHPPs (Kyiv CHPP-5, 6 and Kharkiv CHPP-5) with 9 power units with a capacity of 100 (110) MW (4) and 250 MW (5) [3].

Nuclear power plants provide basic electricity production in the country.

The hydraulic power industry with a total installed capacity of 6,3 GW plays a key role in balancing the UES of Ukraine. It is at the expense of hydroelectric power stations and pumped-storage hydro stations that the peak demand for electric energy is covered and nighttime consumption "failures" are smoothed out. However, these capacities largely depend on seasonal and weather conditions, and in connection with this, their share in the total amount of electricity generation varies significantly. It is worth noting that in the second half of 2021, there was a long-awaited commissioning of Unit 4 of the Dniester HPP with a capacity of 324 MW. PrJSC "Ukrhydroenergo" had plans to construct 5, 6 and 7 hydro units of the Dniester HPP. In addition, the company is going to implement the construction projects of Kaniv HPP and Kakhovka HPP - 2, as well as a construction project of hybrid systems for electricity production. At the end of 2021, there was the first test start-up of hydrounit № 3 of Tashlytska HPP with a capacity of 160 MW. The connection of hydraulic unit № 3 to the network and the start of its operation in the working mode were planned for the beginning of March 2022. All plans were disrupted by the start of a full-scale military invasion of Russia.

Because of the overloading of the Ukrainian energy system with basic capacities and shortage of manoeuvring capacities, TPP power units with a total installed capacity of 21,8 GW designed for operation in basic modes are also used to balance the energy system. However, since some TPPs are located in temporarily occupied territories, certain units are decommissioned or taken out of commission, some are under planned or emergency repair works, while others are unavailable due to lack of fuel, only the amount of 5-6 GW of thermal generation is actually available. Under such conditions, the main capacities for adjusting the load schedule are coal-fired units of 150–200–300 MW TPP. However, due to the excessive use of thermal power plants for balancing the power system, there is an additional burn-out of the equipment resource, an increased risk of accidents and excessive consumption of fuel [3]

Herewith, the average number of working hours of all power units of the TPP has already exceeded 270000 (at the maximum park resource up to 200000 hours), which leads to the operation of the power system at the limit of available capacity reserves.

The Russian-Ukrainian war, which has lasted for nine years so far, caused great damage to the Ukrainian electricity industry. As a result of full-scale war of Russia against Ukraine, there has been a sharp decrease in the use of electrical energy for periods of up to 60%.

During the first days of the war, aggressors started capturing the energy facilities of Ukraine. Thus, on February 24, 2022, Russian troops entered the territory of the Chornobyl NPP. A lot of damage was done to the environment because they were incompetent of handling such objects. Zaporizhzhia NPP (ZAEP) was seized on March 4, 2022 after a long-term defense by Ukrainians.

The ZANP has 6 power units with a total capacity of 6,000 MW, being the largest nuclear power plant in Europe. It is worth reminding that during the accident at the Chornobyl NPP, only one power unit went out of order, and currently all 6 reactors of the ZNPP are at gunpoint. VVER-1000 reactor, which is the type installed at the ZNPP, is vulnerable to damage of both the core itself and its numerous pipelines. Before the seizure of the station, 3 power units were operating at the ZNPP. However, currently, only power unit No. 4 is in operation, while the others are undergoing scheduled repairs or staying in cooling mode and switching to a shutdown state. Moreover, there are hardly any qualified employees left at the station, as some escaped, some were shot by Russians, and others are constantly sick after the interrogation tortures.

As a result of a full-scale invasion of Ukraine by Russia, the state enterprise "Energoatom" suffered losses in the amount of 32 billion hryvnias [6]. This covers reducing production and damage caused to NPP equipment and infrastructure. The Russians are also shelling the station itself, causing the shutdown of power units and blaming it on the Armed Forces of Ukraine. On October 5, the President of Russia, Vladimir Putin, ordered to transfer the Zaporizhzhya NPP into federal ownership. In addition, the Russians founded a company to manage the Ukrainian nuclear power plant.

In the course of military aggression by Russia, the enemy seeks to seize the NPP to create safe protection for their troops on the territory of the NPP, intimidate Europe and the world with a likelihood of the accident similar to that of the Chernobyl NPP and the Fukushima NPP, exercise control over the nuclear energy in Ukraine, which accounts for 60% of electricity generation in the country. This situation poses a real threat, because it gives access to future raw materials for nuclear weapons, which can become nuclear fuel loaded into reactors.

As for CHP and TPP, the situation here is as follows. As a result of shelling by the Russian occupiers in Ukraine, most of 10 thermal power plants in the country were damaged.

Luhansk thermal power station, Okhtyrsk thermal power station, Trypilsk thermal power station, and Chernihiv thermal power station suffered the greatest damage. Luhansk CHP is lost; Okhtyr CHP is almost completely destroyed. Zaporizhzhia thermal power plant has run out of coal, which cannot be delivered for replenishment.

Solar energy is of great importance for Ukraine as it has been developing rapidly over the last decade. Most of the industrial solar power stations (60%) are located in the area of hostilities and occupied territories, namely in the southern and southeastern regions of Ukraine. This caused huge losses of property and capacity. It goes without saying that the scope of losses is enormous. According to preliminary data, 30-40% of solar power plants in the southern and eastern regions were destroyed, and this is 1,120-1,500 MW of their capacity. The greatest damage was caused to these objects in Mykolaiv region. Thus, the solar park of the Solar Generation Company (22 MW) was half-destroyed by enemy artillery and helicopters. The remaining stations cannot be used as 5.5 km of a 150 kV power transmission line in the city of Mykolaiv was destroyed. Almost 100% of capacities in solar power plants were destroyed in Kharkiv region. As of January 2022, 1.2 GW of solar power plants were installed in private homes in the country, and about 280 MW (24%) have been destroyed to date [7].

Wind energy has also been actively developing during the years of developing independent Ukraine. As of January 1, 2022, the gross generation of operating wind power plants was 1,673 MW. They were mainly located in Zaporizhia, Mykolaiv, Lviv, and Odesa regions. Because of the war with Russia, 2/3 of wind generators do not operate, which is 1162.5 MW of capacity. Only 372.5 MW do operate, mainly they are located in Odesa and Lviv regions. In Zaporizhzhia region, all DTEK wind turbines (Botiivska - 199.88 MW, Primorska-2 - 99.58 MW, Orlovska - 98.8 MW) do not operate, with the exception of Primorska-1 - 99.58 MW.

In Zaporizhia region, MW Zaporizhzhia wind power plant of Eurocape Ukraine LLC does not operate (98.1 MW). In Mykolaiv region, turbines of Prychornomorskyi Wind Park and fourteen turbines of Wind Parks of Ukraine LLC do not operate. In Odesa region, operation of Pivdenne Energy Wind Farm (76.5 MW) was stopped, but the Dniester wind farm (partially), LLC Elementum Energy" - 40 MW and the Turkish Guris wind farm "Ovid Wind" - 32.67 MW do operate and supply electricity.

Companies that produce electricity out of biomass in Ukraine can generate 224.5 MW (119.1 MW out of biomass, 105.4 MW out of biogas). All these enterprises are located in the territory of powerful agricultural companies. At the beginning of July 2022, 10-15% of the installed capacities were destroyed by Russian aggression. This is primarily relevant to the north and east of Kharkiv region, Sumy and Chernihiv regions, Mykolaiv district, and Zhytomyr city [7].

An important direction is the integration of the United Energy System of Ukraine into the general European energy system ENTSO-E, which is stipulated by the Association Agreement between the EU and Ukraine. Nevertheless, because of hostilities, the plans have been postponed for an indefinite term although preparations take place despite the war. Today, the problem of the free purchase and sale of electricity between EU countries and Ukraine is of crucial importance. To solve it, it is necessary to remove obstacles on the way to the interstate supply of electricity through auctions and resolve technical limitations of import-export capacities. Special attention is required by the issue of regulating the methodology for calculating the required capacity of interstate crossing. It is essential to get a settlement in terms of export fees, which currently contradicts the Association Agreement with the EU. For the formation of a single energy market, it is necessary to carry out reforms not only in the regulatory and legal fields, but also in the technical and economic aspects. Currently, in line with restoration of the facilities in the territory of Ukraine, it is important to identify the loss of energy facilities located in the temporarily occupied territories.

In Ukraine, at the beginning of 2023, more than 50% of heat supply facilities which had been damaged by shelling were restored. The situation remains quite tense and a lot needs to be done to return to the pre-war capacities.

This war has also triggered a serious energy crisis in Europe due to Russia's weaponization of energy. This is why, as early as 2021, the Russian government began to restrict Russian gas deliveries to the EU despite the existing long-term contracts between Russian suppliers and European customers. He then aggravated this blackmail policy after 24 February. This policy did indeed trigger a major crisis on European energy markets, with gas prices exceeding 300 Euro/MWh last August on the Dutch TTF spot market, compared to around 20 Euro/MWh in 2020. Due to the difficulties of French nuclear power plants and the climate change-related limited hydroelectricity production, it also led to a severe crisis on the EU electricity market, raising fears of blackouts this winter. These combined crises caused a sharp rise in energy prices for households and businesses, creating serious economic and social problems in the EU.

EU managed to compensate for the lack of Russian gas principally with other Liquefied Natural Gas (LNG) sources. EU succeeded to fill stocks for winter and to reduce significantly our use of gas and electricity. It is in particular interesting to notice how quickly Germany reacted. Russian gas imports have been reduced from 55 % of the total at the beginning of 2022 to almost zero and oil from 40 % to zero [8, 9].

The energy crisis has revealed vulnerabilities in Europe's electricity market. So the only way for Europe to get out of this crisis over the next months in a sustainable manner is to fix this imbalance, when do by lowering your demand and maximize the supply, alternatives. That means building floating storage and gasification units, as Germany is doing. That means signing new gas deals with LNG suppliers, promoting solar energy to get rid of gas in electricity production, and promoting the rollout of heat pumps in houses to get rid of the gas boiler. These are the structural solutions to the energy crisis in Europe. It marks a turning point in the EU - Russia relations, which have been very much conditioned until now by the energy issue.

## 3. CONCLUSIONS

At present, the issue of restoring the energy industry is one of the urgent issues for Ukraine. Under the conditions of hostilities and limited resources, there is a problem related to finding alternatives to meet the needs of both the industrial and consumer sectors. For this, the energy industry of Ukraine is to be synchronized with the EU system, but there are certain obstacles to this in terms of normative and technical factors which should be overcome to establish cooperation.

The conducted analysis proves that the energy system of Ukraine faced a powerful failure in the form of destroying or damaging a significant part of the combined energy system. Prior to a full-scale invasion, it was possible to maintain the planned indicators within the norms that ensure the framework of national security.

Therefore, the problem of national security is closely related to energy stability. One of the directions for further scientific research is the development of new mechanisms needed for investment appeal in electric energy. Since the war continues, only effective management and control can ensure maintaining the energy system of Ukraine and guarantee national security.

## REFERENCES

[1] Horbulin, V. P. (Ed.). (2017). Svitova hibrydna viina: Ukraiinskyi front [The World Hybrid War: Ukrainian Forefront]. Kyiv: NISS [in Ukrainian].

[2] Sukhodolia, O. M., & Smenkovskyi, A. Yu. (2013). Enerhetychnyi sektor Ukrainy: perspektyva refor muvannia chy stahnatsii [Th e energy sector of Ukraine: the prospect of reform or stagnation]. Stratehichni priorytety – Strategic Priorities, 2, 74–80 [in Ukrainian].

[3] Antoniuk, N., Kulczycka, J. (2022). The management of renewable energy resources for the energy security of Ukraine and Europe. Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal, 25(4), 115-134. https://doi.org/10.33223/epj/154572

[4] Bila, S. O., & Gaidai, M. Yu. (2018). Strategic priorities of sustainable development in the 21st century: experience of EU countries and Ukraine. Business navigator, (1-1), 26-31.

[5] Public Union "Ukrainian Wind Energy Association": 2014-2021

[6] Official page of Energoatom https://www.energoatom.com.ua/news-links.html.

[7] Tkach, D., & Hrushko, V. (2022). Electrical energy of Ukraine during the Ukrainian-russian war. Scientific notes of the "KROK" University, (2(66), 63–72. https://doi.org/10.31732/2663-2209-2022-66-63-72

[8] Josep Borrell, High Representative of the European Union for Foreign Affairs and Security Policy / Vice-President of the European Commission (2023), HR/VP Blog. https://www.eeas.europa.eu/eeas/year-war-and-energy-and-climate-crises_en

[9] Skrynkovskyi, R. M. (2011). Methodical approaches to economic estimation of investment attractiveness of machine-building enterprises for portfolio investors. Actual Problems of Economics, 118 (4), 177–186. URL: http://www.scopus.com/ inward/record.url?eid=2-s2.0-84930489016&partnerID=MN8TOARS

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ОПТИМИЗАЦИЈА ЗАЛИХА ФЛОТАЦИЈСКИХ МАТЕРИЈАЛА

# OPTIMIZATION OF STOCK OF FLOTATION MATERIALS

ПАВЛЕ СТЈЕПАНОВИЋ[1], ЖЕЉКО ПРАШТАЛО[1], РАДЕ ШАРАЦ[1], ЈАСМИНА НЕШКОВИЋ[1]

[1] Рударски институт доо Београд, pavle.stjepanovic@ribeograd.ac.rs

***Резиме:*** *Функција залиха потрошних материјала у рудницима (експлозиви и експлозивна средства, нафта, мазива, гуме, заштитна средства, резервни делови за машине и опрему, флотацијски реагенси, итд.) је подмиривање потреба ради одвијања производног процеса.*

***Кључне речи:*** *флотација, залихе, потрошни материјал, стохастичка оптимизација.*

***Abstract:*** *The function of stocks of consumables in mines (explosives and explosives, oil, lubricants, rubber, protective agents, spare parts for machines and equipment, flotation reagents, etc.) is to meet the needs for the production process.*

***Keywords:*** *flotation, inventory, consumables, stochastic optimization.*

## 1. УВОД

Коришћење потрошних материјала у рудницима зависи од примењене технологије експлоатације, технологије прераде односно припреме минералних сировина, затим од обима и услова производње и од других чинилаца. Уобичајени су: експлозив и експлозивна средства, нафта, мазиво, гуме, заштитна средства, резервни делови, флотацијски реагенси, кугле и шипке за млевење, хемијска средства итд. Њихова потрошња, у принципу, током године стохастички варира, а разлози су: промене геолошких обележја и услова у радној средини, непланирани застоји, утицаји тржишта (превирања, шпекулације, поремећаји), утицаји сезонске потражње за минералном сировином, метеоролошки утицаји (на површинску експлоатацију), итд.

У таквим околностима, да би се производни процес неометано одвијао, осцилације потреба за потрошним материјалима се неутралишу залихама, подразумевајући да су залихе довољно велике да у сваком моменту задовоље потребе производње. Произилази закључак да је мања вероватноћа поремећаја или прекида производње, што су залихе потрошног материјала веће.

За пословање рудника, залихе су међутим трошковни баласт, чување потрошних материјала повећава трошкове пословања (камате на ангажована средства, трошкови складиштења, осигурање, итд.), те произилази логичко питање како постићи склад између стабилности производње рудника и минимизације трошкова залиха, односно како оптимизирати залихе?

Решење не зависи само од одговора која количина залиха уз најниже трошкове обезбеђује стабилност производње рудника, већ укључује и услове тржишта и могућност снабдевања потрошним материјалима, што такође утиче на потребу за залихама. Важно је знати да ли наручена количина потрошног материјала може бити испоручена одмах или је потребно време? Може се догодити да поручени материјал не буде допремљен пре него што се залихе потроше, тад треба утврдити да ли су трошкови хитних набавки мањи или већи од губитака услед застоја у производњи?

Јасно се назире да квантитативни модели ове класе проблема, структурно треба да садрже функцију циља и скуп ограничења. Критеријум функције циља је минимизација трошкова, а ограничења се односе на: потрошњу, услове снабдевања, попуњавање залиха, управљање залихама, итд. Трошкови обухватају:

- трошкове организације залиха,
- трошкове складиштења (по јединици потрошног материјала),
- трошкове опслуживања залихама у процесу потрошње,
- трошкове залиха узроковане природом технолошког процеса (потрошња константна или променљива).

Оптимизација динамичким програмирањем, као препознатом приступу решавања проблема залиха, није заснована на стриктно одређеном моделу (или његовом алгоритму), као што је случај код неких других метода операционих истраживања, већ је подређено примени Белмановог принципа оптималности, прилагођеног природи решаваног проблема.

## 2. ОСНОВНЕ ПРЕТПОСТАВКЕ ФЛОТАЦИЈСКОГ МОДЕЛА ЗАЛИХА

Полазне претпоставке конституисања модела:

- Количина потрошног материјала на залихама флотације рудника, зависи од потреба производње и од услова снабдевања.
- Расположиве залихе не морају бити увек довољне да подмири потребе флотације у неком периоду, у таквим ситуацијама неопходне су хитне набавке.
- Због стохастичког карактера рудничке производње у којој је флотација део производног система, однос између расположивих и потребних залиха може бити:

Залихе ($y$) довољне су да подмире потрошњу ($x$): $y \geq x$

Залихе ($y$) нису довољне да подмире потрошњу ($x$): $y < x$

## 3. ПРИМЕР ПРИМЕНЕ МОДЕЛА У ФЛОТАЦИЈИ РУДНИКА ПОЛИМЕТАЛИЧНЕ РУДЕ

На основу вишегодишње аквизиције и анализе података о потрошњи материјала у флотацији рудника полиметаличне руде олова, цинка, бакра и сребра, из пословних разлога не наводимо име рудника у Србији, урађена је оптимизација флотацијских залиха потрошних материјала: амил ксантата, етил ксантата, натријум цијанида, бихромата, зелене галице, цинк сулфата, плавог камена, креч хидрата, уља (HD 46, 68, 100, 150, SAE 140, Hipenol 90), графитне масти, товатне маст, Daufrot-200, Ivasol, хлороводоничне киселине и кугли за млевање.

Математичо-статистичка обрада података показала је да су осцилације месечне производња руде до 21,63%, а месечне осцилује потрошње појединих материјала од 22,05% до 58,8%, нпр. плави камен, што потврђује хипотезу о стохастичности.

Трошкови складиштења $C_1$ и трошкови накнадне (хитне) набавке јединице потрошног материјала $C_2$, у анализи су исказани у новчаним јединицама (nj). Разлог је променљива вредност и курсни односи валута, што може довести до дилема и забуна. Претпоставка исправности коришћења (nj) је да су односи економетријских параметара исказани у новчаним јединицама еквивалентни односу у реалној валути у моменту израчунавања. Дакле новчаном јединицом, није поремећен реалан однос кључних трошковних параметара.

Приказ детаља и комплетних резултата ове студије, много би непотребно повећао и обима рада, те су у наставку табеларно (табела 1-4) приказана само оптимизације залиха амил ксантата и кугли за млевење.

### АМИЛ КСАНТАТ

**Табела 1:** Законитост месечне потрошње амил ксантата

| **Обим месечне потрошња ($10^3$kg)** | **<1,43** | **1,43 – 1,75** | **1,75 – 2,07** | **2,07 – 2,39** | **2,39 – 2,71** | **>2.71** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Вероватноћа потрошње | 0 | 0,208 | 0,458 | 0,292 | 0,042 | 0 |
| Интервал производње | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

**Табела 2:** Оптимизација месечне потрошње амил ксантата

| $y$ | $x$ | $p(x)$ | $\frac{p(x)}{x}$ | $\sum_{x=y+1}^{\infty}\frac{p(x)}{x}$ | $\left(y+\frac{1}{2}\right)\sum_{x=y+1}^{\infty}\frac{p(x)}{x}$ | $p(x<y)$ | $G(y)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,545 | 0,2725 | 0 | 0,2725 |
| 1 | 1 | 0,208 | 0,208 | 0,337 | 0,5055 | 0,208 | 0,7135 |
| 2 | 2 | 0,458 | 0,229 | 0,108 | 0,2700 | 0,666 | 0,9360 |
| 3 | 3 | 0,292 | 0,097 | 0,011 | 0,0385 | 0,958 | 0,9965 |
| 4 | 4 | 0,042 | 0,011 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

За $C_1$=11,57 nj/kg, $C_2$=57,7 nj/kg, $k = C_2 /(C_1+ C_2)$= 0,833, према релацији (8) оптималне месечне залихе амил ксантата ($y_0$) у интрвалу 2, вероватноћа 66,6%, износе 1.750 – 2.070 kg.

### КУГЛЕ ЗА МЛЕВЕЊЕ

**Табела 3:** Законитост месечне потрошње кугли за млевење

| **Обим месечне потрошња ($10^3$kg)** | **<16,25** | **16,25 – 18,25** | **18,25– 20,25** | **20,25– 22,25** | **22,25– 24,25** | **24,25– 26,25** | **>26,25** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Вероватноћа потрошње | 0 | 0,125 | 0,333 | 0,167 | 0,250 | 0,125 | 0 |
| Интервал производње | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

**Табела 4:** Оптимизација потрошње кугли за млевење

| $y$ | $x$ | $p(x)$ | $\frac{p(x)}{x}$ | $\sum_{x=y+1}^{\infty}\frac{p(x)}{x}$ | $\left(y+\frac{1}{2}\right)\sum_{x=y+1}^{\infty}\frac{p(x)}{x}$ | $p(x<y)$ | $G(y)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,4347 | 0,21735 | 0 | 0,21735 |
| 1 | 1 | 0,125 | 0,1250 | 0,3097 | 0,46455 | 0,125 | 0,58955 |
| 2 | 2 | 0,333 | 0,1665 | 0,1432 | 0,35800 | 0,458 | 0,81600 |
| 3 | 3 | 0,167 | 0,0557 | 0,0875 | 0,30625 | 0,625 | 0,93125 |
| 4 | 4 | 0,250 | 0,0625 | 0,0250 | 0,11250 | 0,875 | 0,98750 |
| 5 | 5 | 0,125 | 0,0250 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 6 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

За $C_1$=3,09 nj/kg, $C_2$=25,87 nj/kg, $k = C_2 /(C_1+ C_2)$= 0,893, према релацији (8) оптималне месечне залихе кугли за млевње ($y_0$) у интервалу 3, вероватноћа 62,5%, износе 20.250 – 22.250 kg.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Упоредна анализа студије показала је да применом оптималних решења, оперативни трошкови залиха амил ксантата се смањују за 13,73%, а кугли за млевење 15,51%. Збирни трошкови залиха свих флотацијских потрошних материјала (амил ксантата, етил ксантата, натријум цијанида, бихромата, зелене галице, цинк сулфата, плавог камена, креч хидрата, уља, масти, хлороводоничне киселине, кугли за млевање итд.) оптималним решењима се смањују за 12,77%, то је довољан аргумент и вредносна потврда значаја практичне примене стохастичког моделовања у управљању залихама рудничких и флотацијских потрошних материјала.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Бошевски С. (2010). Динамички модели управљања залихама производње и потрошње у експлоатацији неметаличних минералних сировина. Докторска дисертација, Универзитет у Београду Рударско-геолошки факултет, Београд, 105 стр.

[2] Вујић С. (2023). Квантитативни модели за подршку одлучивању у планирању и пројектовању у рударству. Рударски институт Београд, 254 стр.

[3] Вујић С., Здравев С. (1993). Управљање залихама материјалних ресурса на рудницима. Зборник радова Симпозијума о операционим истраживањима, Београд, стр. 291-294.

[4] Вујић С., Здравев С., Петровски А. (1994). Оптимизација залиха материјалних ресурса на површинском копу Бучим. Зборник радова II Међународне конференције о површинској експлоатацији, Врњачка Бања.

[5] Vujić S., Ćirović G., Jelisavac D. (1995). Fuzzy modeling of mine production system. Proceedings of the IV International Symposium on Application of Mathematical Methods and Computers in Geology, Mining and Metallurgy, Krakow, pp. 91– 104.

[6] Vujić S., Miljanović I., Maksimovic S., et al. (2010). Optimal dynamic management of exploitation life of the mining machinery: models with undefined interval. Journal of Mining Science, Springer, Vol. 46, No. 4, pp. 425-430.

[7] Vujić S., Miljanović, I., Boševski S., et al. (2010). Optimal dynamic management of exploitation life of the mining machinery: models with limited interval. Journal of Mining Science, Springer, Vol. 46, No. 5, pp. 554-560.

[8] S. Vujić S. Boševski, et al. (2011). Risk assessment in consumables supplies management in mines. Proceedings of the 35th Symposium on application of Computers and Operations Research in the Mineral industry, University of Wollongong, Australia, pp. 571-579.

[9] Станојевић Р. (1970). Увод у операциона истраживања. Институт за економику индустрије Београд, 239 стр.

[10] Станојевић Р. (1994). Примена модела залиха сировина у серијској производњи. Индустрија, Економски институт, Београд, Vol. 21, No. 1-2, стр. 41-63.

[11] Станојевић Р. (1995). Оптимизација залиха сировина у серијској производњи. Индустрија, Економски институт, Београд, Vol. 22, No. 4, стр. 181-184.

[12] Станојевић Р. (2004). Динамичко програмирање. Економски институт, Београд, 958 стр.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50. СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ВИШЕАТРИБУТНО РАНГИРАЊЕ СНАБДЕВАЧА КРЕЧЊАКОМ ТЕРМОЕНЕРГЕТСКОГ КОМПЛЕКСА

# MULTI-ATTRIBUTE RANKING OF THE LIMESTONE SUPPLIERS OF THE THERMAL ENERGY COMPLEX

СЛОБОДАН ВУЈИЋ[1], ЖЕЉКО ПРАШТАЛО[1], БИЉАНА ПАНИЋ[2], ПАВЛЕ СТЈЕПАНОВИЋ[1], РАДЕ ШАРАЦ[1]
[1] Рударски институт Београд, slobodan.vujic@ribeograd.ac.rs
[2] Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

---

***Резиме:*** *Снабдевање терменергетских постројења на угаљ кречњаком као сорбентом у процесу уклањања сумпора из димних гасова, истиче два кључна проблемска питања. Осим квалитета којим сировина треба да задовољи технолошке услове инсталисаних постројења за одсумпоравање, у термоенергетским системима са више потенцијалних производних и корисничких ентитета поставља се питање рационалног снабдевања кречњаком. У раду је представљен вишеатрибутни модел рангирања као могући приступ у решавању оваквих задатака.*

***Кључне речи:*** *вишеатрибутно рангирање, кречњак, снабдевање, термоенергетика*

***Abstract:*** *The supply of coal-fired thermal power plants with limestone as a sorbent in the process of removing sulfur from flue gases highlights two key problematic issues. Apart from the quality with which the raw material should satisfy the technological conditions of the installed desulphurization plants, in thermal energy systems with several potential production and user entities, the question of rational supply of limestone arises. The paper presents a multi-attribute ranking model as a possible approach to solving such tasks.*

***Keywords:*** *multi-attribute ranking, limestone, supply, termal energy*

---

## 1. УВОД

Техничко-технолошко-еколошки проблеми одсумпоравања димних гасова из термоенергетских постројења на угаљ дуже време је у жижи стручног и научног интересовања. У Србији су бројна лежишта довољно квалитетног кречњака као сорбента у процесу уклањања сумпора из димних гасова. Ова повољност отвара питање рационалног планирања снабдевања кречњаком постројења на угаљ термоенергетског комплекса Србије. Због промењљивости структуре ентитета планирање је временски зависно. Наша истраживања на ову тему, базирана на квантитативном моделовању приказана су у овом и раду који следи. Исход анализе примене вишеатрибутног моделовања приказ је овог рада, а у наредном је једокритеријумско моделовање с упоредном анализом оба приступа.

## 2. СТРУКТУРА ПРОИЗВОДНО-КОРИСНИЧКОГ СИСТЕМА

У максималној конфигурацији термоенергетског комплекса Србије су четири корисничка ентитета (термоелектране на угаљ) и 15 производних ентитета (површинских копова) потенцијалних снабдевача кречњаком задовољавајућег квалитета. Временска промењљивост ентитетске структуре комплекса опредељујући је утицала да се анализа снабдевања кречњаком изведе са три сценарија.

- **Сценарио А**, у комплексу су три корисника кречњака (термоелектарне ТЕ1, ТЕ2 и Т4, термоелектрана ТЕ3 није у погону, у изградњи је) и 15 потенцијалних снабдевача – површинских копова (ПК1, ПК2, ... ПК15).
- **Сценарио Б**, термоелектрана ТЕ3 је још у изградњи, у комплексу су три корисника кречњака (ТЕ1, ТЕ2 и ТЕ4). Претпоставка је да је површински коп ПК5 са најмањим резервама обуставио производњу, у структури је 14 производних ентитета.
- **Сценарио В**, Термоелектрана ТЕ3 пуштена је у погон, у систему су четири корисника кречњака (ТЕ1, ТЕ2, ТЕ3 и ТЕ4). Пошто су утврђене нове резерве кречњака н површинском копу ПК5, у конфигурацији је поново 15 потенцијалних снабдевача.

Параметри неопходни за вишеатрибутну анализу прегледно су приказани у табели 1, обухватајући:

- За површинске копове: утврђене резерве кречњака (t), капацитет производње (t/год.), експлоатациони век рудника (година), квалитет кречњака ($CaCO_3$%) и производна цена (nj/t).
- За термоелектране: годишње потребне количине кречњака (t), специфични трошкови транспарта кречњака од површинских копова до термоелектрана (нј/t) и специфични збирни трошкови – цена сировине + трошкови транспрта (nj/t).

Цене и трошкови у раду су исказани у новчаним јединицама (nj). Разлог је промењљива вредност и курсни односи валута, што може довести до дилема и забуна. Претпоставка коришћења (nj) је да су односи економетријских параметара исказани у новчаним јединицама еквивалентни односу у реалној валути у моменту израчунавања.

**Табела 1:** Параметри комплекса

| ПОВРШИНСКИ КОП | **Резерве кречњака** (t) | **Капацитет** (t/год) | **Експлоатациони век** (год) | **Квалитет ($CaCO_3$ %)** | **Продајна цена** (nj/t) | ТЕРМОЕЛЕКТРАНА | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Т1 | | Т2 | | Т3 | | Т4 | |
| | | | | | | **Потрошња кречњака** (t/год.) | | | | | | | |
| | | | | | | 245.000 | | 270.000 | | 75.000 | | 285.000 | |
| | | | | | | **Трошкови** (nj/t) | | | | | | | |
| | | | | | | **тт** | **зт** | **т** | **зт** | **т** | **зт** | **т** | **зт** |
| ПК1 | 28.300.000 | 350.000 | 80,86 | 97,04 | 520 | 350,00 | 870,00 | 240,00 | 760,00 | 380,00 | 1490 | 880,00 | 1400 |
| ПК2 | 13.299.739 | 200.000 | 66,50 | 99,57 | 520 | 567,35 | 1087,35 | 567,35 | 1087,35 | 313,43 | 833,43 | 1.362,89 | 1.882,89 |
| ПК3 | 2.293.379 | 50.000 | 45,87 | 98,38 | 520 | 771,56 | 1291,56 | 771,56 | 1291,56 | 771,56 | 1291,56 | 2.571,69 | 3.091,69 |
| ПК4 | 9.911.603 | 800.000 | 12,39 | 98,50 | 560 | 758,49 | 1318,49 | 715,31 | 1275,31 | 585,80 | 1145,8 | 1.449,23 | 2.009,23 |
| ПК5 | 9.703.204 | 1.000.000 | 9,70 | 97,54 | 570 | 771,56 | 1341,56 | 771,56 | 1341,56 | 771,56 | 1341,56 | 2.312,66 | 2.882,66 |
| ПК6 | 9.328.875 | 150.000 | 62,19 | 94,39 | 650 | 758,49 | 1408,49 | 758,49 | 1408,49 | 585,80 | 1235,8 | 1.362,89 | 2.012,89 |
| ПК7 | 7.152.849 | 162.000 | 44,15 | 97,97 | 580 | 844,83 | 1424,83 | 715,31 | 1295,31 | 931,17 | 1511,17 | 1.708,26 | 2.288,26 |
| ПК8 | 6.597.322 | 300.000 | 21,99 | 97,00 | 600 | 844,83 | 1444,83 | 672,14 | 1272,14 | 931,17 | 1531,17 | 1.708,26 | 2.308,26 |
| ПК9 | 17.378.554 | 280.000 | 62,07 | 95,19 | 570 | 672,14 | 1242,14 | 542,63 | 1112,63 | 628,97 | 1198,97 | 1.708,26 | 2.278,26 |
| ПК10 | 17.254.093 | 300.000 | 57,51 | 97,04 | 630 | 466,66 | 1096,66 | 466,66 | 1096,66 | 466,66 | 1096,66 | 731,86 | 1.361,86 |
| ПК11 | 48.541.228 | 333.000 | 145,77 | 97,29 | 660 | 731,86 | 1391,86 | 731,86 | 1391,86 | 731,86 | 1391,86 | 547,46 | 1.207,46 |
| ПК12 | 18.000.000 | 300.000 | 60,00 | 95,34 | 540 | 715,31 | 1255,31 | 801,66 | 1341,66 | 499,46 | 1039,46 | 931,17 | 1.471,17 |
| ПК13 | 53.706.736 | 900.000 | 59,67 | 94,96 | 630 | 568,16 | 1198,16 | 568,16 | 1198,16 | 568,16 | 1198,16 | 771,56 | 1.401,56 |
| ПК14 | 79.482.637 | 750.000 | 105,98 | 97,02 | 630 | 568,16 | 1198,16 | 568,16 | 1198,16 | 568,16 | 1198,16 | 771,56 | 1.401,56 |
| ПК15 | 25.642.326 | 400.000 | 64,11 | 96,06 | 530 | 920,00 | 1450,00 | 920,00 | 1450,00 | 1.362,89 | 1.892,89 | 400,00 | 930,00 |

**Тумач:** ТТ – трошкови транспорта, ЗТ – збирни трошкови транспорта и производње

## 3. РЕЗУЛТАТ РАНГИРАЊА

На основу вредности нето тока вишег реда, методом PROMETHEE рангирани су површински копови као потенцијални снабдевачи кречњаком термоенергетског комплекса са три и четири термоелектране на угаљ. Вишеатрибутни поредак производних ентитета, за сва три сценарија, приказани су у табелама 2, 3 и 4.

**Табела 2:** Исход вишеатрибутне анализе према ценарију А

| Површински коп | ПК1 | ПК2 | ПК3 | ПК4 | ПК5 | ПК6 | ПК7 | ПК8 | ПК9 | ПК10 | ПК11 | ПК12 | ПК13 | ПК14 | ПК15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Вредност нето тока | 0,691 | 0,631 | -0,040 | 0,095 | -0,269 | -0,665 | -0,269 | -0,321 | -0,055 | 0,341 | -0,144 | -0,121 | 0,041 | 0,225 | -0,138 |
| Позитиван ток | 0,786 | 0,794 | 0,431 | 0,509 | 0,304 | 0,156 | 0,327 | 0,288 | 0,445 | 0,608 | 0,379 | 0,408 | 0,467 | 0,532 | 0,399 |
| Негативан ток | 0,095 | 0,163 | 0,471 | 0,414 | 0,574 | 0,821 | 0,596 | 0,609 | 0,500 | 0,267 | 0,524 | 0,529 | 0,426 | 0,307 | 0,538 |

**Табела 3:** Исход вишеатрибутне анализе према ценарију Б

| Површински коп | ПК1 | ПК2 | ПК3 | ПК4 |  | ПК6 | ПК7 | ПК8 | ПК9 | ПК10 | ПК11 | ПК12 | ПК13 | ПК14 | ПК15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Вреност нето тока | 0,688 | 0,609 | -0,077 | 0,039 |  | -0,673 | -0,299 | -0,348 | -0,088 | 0,335 | -0,128 | -0,156 | 0,027 | 0,21 | -0,138 |
| Позитиван ток | 0,787 | 0,781 | 0,412 | 0,482 |  | 0,151 | 0,313 | 0,278 | 0,432 | 0,608 | 0,391 | 0,396 | 0,456 | 0,526 | 0,401 |
| Негативан ток | 0,099 | 0,172 | 0,489 | 0,443 |  | 0,824 | 0,612 | 0,626 | 0,520 | 0,273 | 0,519 | 0,552 | 0,429 | 0,316 | 0,539 |

**Табела 4:** Исход вишеатрибутне анализе према ценарију В

| Површински коп | ПК1 | ПК2 | ПК3 | ПК4 | ПК5 | ПК6 | ПК7 | ПК8 | ПК9 | ПК10 | ПК11 | ПК12 | ПК13 | ПК14 | ПК15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Вредност нето тока | 0,486 | 0,69 | -0,054 | 0,176 | -0,268 | -0,56 | -0,34 | -0,406 | -0,001 | 0,399 | -0,196 | 0,039 | 0,079 | 0,231 | -0,276 |
| Позитиван ток | 0,693 | 0,827 | 0,432 | 0,556 | 0,315 | 0,21 | 0,298 | 0,254 | 0,465 | 0,647 | 0,362 | 0,493 | 0,484 | 0,537 | 0,336 |
| Негативан ток | 0,207 | 0,137 | 0,486 | 0,38 | 0,5830 | 0,77 | 0,638 | 0,66 | 0,465 | 0,248 | 0,558 | 0,454 | 0,404 | 0,306 | 0,612 |

Ранг првих осам позиционираних површинских копова кречњака еквивалентан је за сценаријо А (15 производних и 3 корисничка ентитета) и сцеаријо Б (14 производних и 3 корисничка ентитета). Разлика поредака после девете позиције на ранг листи, последица је изласка из система површинског копа ПК5. Листа поредка површинских копова према сценарију В (15 производних и 4 корисничка ентитета) разликује се већ на почетку у односу на листе према сценаријима А и Б, што је последица параметарских промена насталих уласком у рад термоелектране ТЕ3.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Рангирање површинских копова, независно од сценарија, дефинише листу приоритета снабдевача али не и децидан план снабдевања кречњаком термоенергетског комплекса. Узмимо сценарио В, према поредку површински копови ПК2, ПК1, ПК10 и ПК14, појединачних производних капацитета 350.000, 200.000, 300.000 и 750.000 t кречњака, заједно 1.600.000 t, задовољавају годишње потребе термоенергетског комплекса од 875.000 t кречњака. Ако би се снабдевање кречњаком успоставило према овом поредку, производни капацитети површински копови ПК2, ПК1 и ПК10 били би 100% ангажовани, а површинског копа ПК14 3,33% од производних могућности. Дакле, капацитет четврто рангираног снабдевача ангажован је до допуне производње прва три, да ли је то рационално, питање је за даљу анализу. Рад који следи иза овог рада, пружа одговор на ово питање.

Анализа осетљивости рангова показала је да мале до ниже средње промене ентитетских параметара не утичу на стабилност решења, што упућује на закључак да би вишеатрибутно конституисан план снабдевања био такође релативно постојан. Међутим, тестирање осетљивости рангова са различитим релативним тежинама атрибута, показало је јаку повезаност, што упозорава да тежине морају бити промишљено и објективно дефинисане.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Amankwah H.: Mathematical Optimization Models and Methods for Open-Pit Mining. Department of Mathematics Linköping University, Linköping, 2011, 38 p.

[2] Brans, J. P., Vincke, P., & Mareschal, B.: How to select and how to rank projects – The PROMETHEE method. European journal of operational research, 24(2), 1986, pp. 228-238.

[3] Dimitrijević B., Vujić S., et al.: Multi-criteria analysis of land reclamation methods at Klenovnik open pit mine, Kostolac Coal Basin. Journal of Mining Science, Springer, Vol. 50, No. 2, 2014, pp. 319–325.

[4] Patyk M., Bodziony P., Krysa Y.: A multiple criteria decision making method to weight the sustainability criteria of equipment selection for surface mining. Energies, 14, 2021, pp. 1–14.

[5] Šubaranović T., Vujić S., Radosavljević M., Dimitrijević B., Ilić S., Jagodić Krunić D.: Multi-attribute scenario analysis of protection of Drmno open pit mine against groundwater. Journal of Mining Science, Springer, Vol. 55, No.2, 2019, pp. 280–286.

[6] Vujić S., Simić A.: A Location-allocation model of mining facilities planning at strategic level. Proceedings of the VII International Symposium on Application of Mathematical Methods and Computers in Geology, Mining and Metallurgy, Sophia, 1998, pp. 5–12.

[7] Vujić S.: MAP – A method of multiattributive prognostication of mineral resources estimation. Proceedings of the XIX International Sypmosium on Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry, China University of Mining and Technology, Bejing, 2001, pp. 141–144.

[8] Vujić S., Location-allocation multi-criterion analysis of optimum distribution of facilities for mineral procesing. Proceedings of Xth Mineral Processing Simposium – Challenges and Opportunities in Mineral Processing, Cesme-Ismir, 2004, pp. 853–862.

[9] Vujić S., Hudej M.: Multi-variable assessment of risk in selection of location and the way of open pit mines opening. Proceedings V Balkan Mining Congress, Ohrid, 2013, pp. 1–6.

[10] Hudej M., Vujić S.: Multiatribute approach to restructuring of the regional exploitation of the technical rock. Proceedings BALCOR 2013 – XI Balkan Conference on Operational Research, Belgrade & Zlatibor, University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, 2013, pp. 638–642.

[11] Hudej M., Vujić S., Radosavljević M., Ilić S.: Multivariable selection of the main mine shaft location. Journal of Mining Science, Springer, Vol. 49, No. 6, 2013, pp. 950–954.

# САОБРАЋАЈ, ТРАНСПОРТ И КОМУНИКАЦИЈЕ

# TRAFFIC, TRANSPORTATION AND COMMUNICATION

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ОДРЕЂИВАЊЕ БРОЈА И ЛОКАЦИЈА БАЗНИХ СТАНИЦА ЗА ЗИМСКО ОДРЖАВАЊЕ ПУТЕВА

# DETERMINATION OF NUMBER AND LOCATIONS OF BASE STATIONS FOR WINTER ROAD MAINTENANCE

АЛЕКСАНДРА ИВАНОВИЋ[1], МИЛОШ НИКОЛИЋ[1], МИЛИЦА ШЕЛМИЋ[1]

[1]Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет, Београд, aleksandrastojanovic1410@gmail.com, m.nikolic@sf.bg.ac.rs, m.selmic@sf.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *У раду је разматран проблем одређивање броја и локација базних станица за зимско одржавање путева. Овај проблем је моделиран као локацијски проблем покривања скупа. Тестирање преложеног приступа је извршено на примеру путева у Банатском округу у Србији. За решавање примера коришћен је Excel Solver.*

***Кључне речи:*** *теорија локације, покривање скупа, станице за зимско одржавање путева*

***Abstract:****. We considered the problem of determining the number and locations of base stations for winter road maintenance. This problem was modeled as the set covering location problem. We tested proposed approach on the roads in the Banat District, Serbia. To solve this problem, we have used the Excel Solver.*

***Keywords:*** *location theory, set covering, stations for winter maintanance*

---

## 1. УВОД

Зимско одржавање путева је уобичајена пракса у многим земљама. Оно често захтева доношење сложених стратешких, тактичких и оперативних одлука. Осим планирања структуре и начина коришћења возног парка, један од примарних проблема укључује и одређивање броја и локација базних станица. Зимско одржавање путева обухвата уклањање снега као и посипање соли и других материјала по путевима. Значај зимског одржавања се огледа кроз безбедност саобраћаја и кроз смањење трошкова корисника (зими се повећава потрошња горива због услова на путевима и спорије вожње).

Оптимизацијом броја и локација базних станица за зимско одржавање путева се постижу и побољшање мобилности и ефикасности, смањење негативног утицаја на животну средину, као и значајне уштеде на трошковима одржавања. У овом раду је представљен модел за одређивање броја и локације базних станица за зимско одржавање путева у Банатском округу, у Србији, применом локацијског проблема покривања скупа. За решавање проблема коришћен је Microsoft Excel - Solver.

Рад је организован на следећи начин. У другом делу, након уводних разматрања, је укратко објашњен сам појам зимског одржавања путева, главни проблеми са којима се зимске службе суочавају, шта је циљ зимског одржавања путева, као и како изгледа план зимске службе у Србији. У трећем делу рада је, помоћу локацијског проблема покривања скупа, одређен број и тачне локације базних станица за зимско одржавање путева у Банатском округу, кроз приказ решења у Excel - Solver-у. Коначно, закључна разматрања и правци будућег рада су дати у последњем, четвртом поглављу.

## 2. ОПИС И ФОРМУЛАЦИЈА ПРОБЛЕМА

Радови на зимском одржавању путева захтевају многе сложене планске одлуке. Главни стратешки и оперативни проблеми укључују дефинисање политике на нивоу услуга, лоцирање базних станица, рутирање возила, конфигурисање возног парка, пројектовање сектора и распоређивање возила. Дефинисање политике на нивоу услуга се посматра одвојено од других планских одлука, с обзиром да представља предуслов за остале планске одлуке, док су све остале активности међусобно повезане, тако да утицај који свака одлука има, на неке или све одлуке, утиче на способност агенције за зимско одржавање да пружи жељени ниво услуге [3].

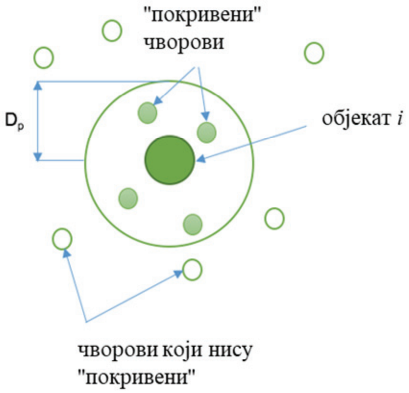
Проблем одређивања локације базних станица се често решава отварањем унапред одређеног броја базних станица из скупа кандидата на основу дефинисаних стратешких и оперативних циљева.

Званични почетак рада зимске службе у Србији је 1. новембар, а завршетак 31. март. У просеку снег пада око 45 дана годишње. Одржавање путева се обавља из 169 базних станица, при чему је укупна дужина мреже државних путева за зимско одржавање у сезони 2022/2023. 14.901,83 km, и то [4]:

- I Приоритета - 5.939,975 km;
- II Приоритета - 4.355,218 km;
- III Приоритета - 4.606,637 km.

Зимско одржавање путева је организовано кроз мрежу седишта и локалних база које добијају информације о времену од Републичког хидрометеоролошког завода Србије, који представља националну службу за временску прогнозу. Подаци о временској прогнози су од великог значаја за зимско одржавање путева, али код нас у земљи временским прогнозама недостају неки временски и просторни детаљи који се могу користити за предузимање мера за зимско одржавање путева базираних на локацији и у реалном времену [2].

Приликом одређивања локације базне станице зимског одржавања на мрежи, циљ је да се покрије што је могуће веће опслужно подручје путева. Уколико се унапред дефинише максимално прописано растојање $D_p$, које се назива "*растојање покривања*", тада су путеви који се налазе унутар тог растојања опслужени, у супротном не [1]. На слици 1 је приказан општи случај када се "покривени" чворови налазе у оквиру дефинисаног растојања $D_p$ и они су опслужени од стране објекта *i* [6].



**Слика 1:** Покривање чворова који се налазе на растојању мањем од $D_p$

Да би се проблем лоцирања базних станица зимског одржавања дефинисао потребно је увести следеће променљиве, уз напомену да су путеви који би требало да буду опслужени посматрани као чворови:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{ако је чвор } j \text{ покривен} \\ 0, & \text{у супротном} \end{cases}$$

$I$ – скуп чворова који захтевају опслугу,
$i$ - индекс чворова који захтевају опслугу,
$J$ – скуп чворова кандидата за лоцирање објеката,
$j$ – индекс чворова кандидата за лоцирање објеката,
$d_{ij}$ – растојање између чвора $i$ који захтева опслугу и чвора кандидата $j$,
$D_p$ – максимално прописано растојање, тј. растојање покривања,
$N_i$ – скуп чворова кандидата из којих чвор $i$ може бити опслужен, при чему је:

$$N_i = \left\{ j \middle| d_{ij} \le D_p \right\}$$

Математичка формулација овог локацијског проблема покривања скупа гласи [5]:
Минимизирати

$$\sum_{j \in J} x_j \tag{1}$$

При ограничењима

$$\sum_{j \in N_i} x_j \ge 1 \quad \forall\, i \in I \tag{2}$$

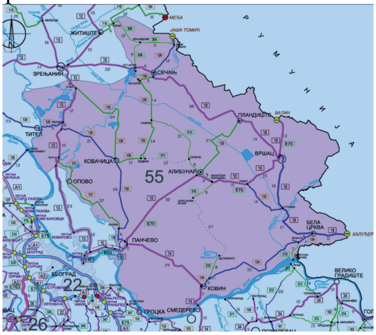
$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall\, j \in J \tag{3}$$

Први израз (1) означава критеријумску функцију чија вредност се минимизира и представља укупан број објеката који су лоцирани на мрежи. Други израз (2) представља скуп ограничења где се захтева да сваки чвор буде "покривен" од стране најмање једног објекта, тј. да сваки чвор који треба да буде опслужен мора да буде на растојању мањем од $D_p$. Последње ограничење (3) се односи на бинарну природу променљиве $x_j$.

На овај начин се математички формулише локацијски проблем покривања скупа који ће у наставку рада бити примењен на проблем лоцирања базних станица за зимско одржавање путева у Банатском округу.

## 3. НУМЕРИЧКИ ПРИМЕР

Предложени модел локацијског проблема из другог поглавља ће бити представљен на путној мрежи Банатског округа, укључујући путеве I и II приоритета зимског одржавања (слика 2). Путеви I приоритета су означени љубичастом бојом, док су путеви II приоритета плавом. Укупна дужина путне мреже Банатског округа износи 395,98 km (путеви I и II приоритета). Предузеће које врши зимско одржавање путева у Банатском округу је Страбаг д.о.о. - огранак "Војводинапут" Панчево. У наставку је помоћу локацијског проблема покривања скупа одређен минимални број базних станица као и њихове локације. За решавање проблема коришћен је софтверски програм Microsoft Excel - Solver.



**Слика 2:** План зимског одржавања Банатског округа са путевима *I, II* и *III* приоритета

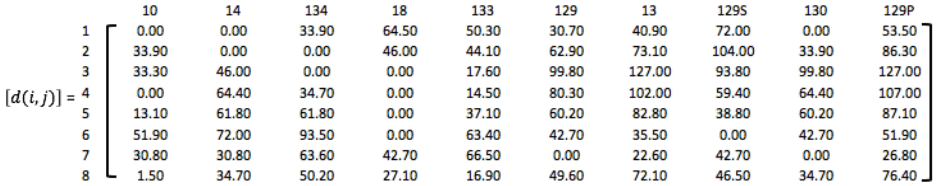
Градови који су у овој анализи изабрани да буду потенцијални кандидати за лоцирање базних станица су приказани у табели 1.

**Табела 1:** Градови - кандидати и њихове ознаке

| **Ознака града** | **Град** |
|---|---|
| 1 | Панчево |
| 2 | Ковин |
| 3 | Бела црква |
| 4 | Вршац |
| 5 | Пландиште |
| 6 | Сечањ |
| 7 | Ковачица |
| 8 | Алибунар |

Путеви који захтевају опслуживање из базних станица наведени су следећим ознакама: 10, 14, 134, 18, 133, 129, 13, 129S, 130, 129P.

Следећи корак је да се одреди матрица најкраћих растојања између градова - кандидата у којима ће бити лоциране базне станице за зимско одржавање путева и путева I и II приоритета који захтевају опслугу. На слици 3 је приказана матрица најкраћих растојања. Подаци су прикупљени помоћу апликације Google Maps.



$$[d(i,j)] = \begin{array}{c|cccccccccc} & 10 & 14 & 134 & 18 & 133 & 129 & 13 & 129S & 130 & 129P \\ \hline 1 & 0.00 & 0.00 & 33.90 & 64.50 & 50.30 & 30.70 & 40.90 & 72.00 & 0.00 & 53.50 \\ 2 & 33.90 & 0.00 & 0.00 & 46.00 & 44.10 & 62.90 & 73.10 & 104.00 & 33.90 & 86.30 \\ 3 & 33.30 & 46.00 & 0.00 & 0.00 & 17.60 & 99.80 & 127.00 & 93.80 & 99.80 & 127.00 \\ 4 & 0.00 & 64.40 & 34.70 & 0.00 & 14.50 & 80.30 & 102.00 & 59.40 & 64.40 & 107.00 \\ 5 & 13.10 & 61.80 & 61.80 & 0.00 & 37.10 & 60.20 & 82.80 & 38.80 & 60.20 & 87.10 \\ 6 & 51.90 & 72.00 & 93.50 & 0.00 & 63.40 & 42.70 & 35.50 & 0.00 & 42.70 & 51.90 \\ 7 & 30.80 & 30.80 & 63.60 & 42.70 & 66.50 & 0.00 & 22.60 & 42.70 & 0.00 & 26.80 \\ 8 & 1.50 & 34.70 & 50.20 & 27.10 & 16.90 & 49.60 & 72.10 & 46.50 & 34.70 & 76.40 \end{array}$$

**Слика 3**: Матрица најкраћих растојања између градова - кандидата и путева који треба да се опслуже

У зависности од растојања покривања у раду су разматрана два сценарија: први када је $D_p$ = 30 km и други када је $D_p$ = 50 km. На основу матрице најкраћих растојања и растојања покривања $D_p$ добија се скуп $N_i$ (табела 2) према следећој релацији $N_i = \left\{ j \middle| d_{ij} \le D_p \right\}$.

**Табела 2**: Скуп чворова кандидата $N_i$

| $N_i$ | $D_p = 30$ | $D_p = 50$ |
|---|---|---|
| $N_{10}$ | {1, 4, 5, 8} | {1, 2, 3, 4, 5, 7, 8} |
| $N_{14}$ | {1, 2} | {1, 2, 3, 7, 8} |
| $N_{134}$ | {2, 3} | {1, 2, 3, 4} |
| $N_{18}$ | {3, 4, 5, 6, 8} | {2, 3, 4, 5, 6, 7, 8} |
| $N_{133}$ | {3, 4, 8} | {2, 3, 4, 5, 8} |
| $N_{129}$ | {7} | {1, 6, 7, 8} |
| $N_{13}$ | {7} | {1, 6, 7} |
| $N_{129s}$ | {6} | {5, 6, 7, 8} |
| $N_{130}$ | {1, 7} | {1, 2, 6, 7, 8} |
| $N_{129p}$ | {7} | {7} |

На основу математичке формулације (1)-(3) и података приказаних на слици 3 и табели 2 добијају се задаци целобројног програмирања који су приказани у табели 3. Решавањем ових задатака помоћу софтвера Excel Solver добијени су резултати приказани у табели 4.

**Табела 3:** Задаци целобројног програмирања

| $D_p = 30$ | $D_p = 50$ |
|---|---|
| Минимизирати<br>$F = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8$<br>при ограничењима<br>$x_1 + x_4 + x_5 + x_8 \geq 1$<br>$x_1 + x_2 \geq 1$<br>$x_2 + x_3 \geq 1$<br>$x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_8 \geq 1$<br>$x_3 + x_4 + x_8 \geq 1$<br>$x_7 \geq 1$<br>$x_7 \geq 1$<br>$x_6 \geq 1$<br>$x_1 + x_7 \geq 1$<br>$x_7 \geq 1$<br>$x_j \in \{0,1\} \quad \forall\, j \in J$ | Минмизирати<br>$F = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8$<br>при ограничењима<br>$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_7 + x_8 \geq 1$<br>$x_1 + x_2 + x_3 + x_7 + x_8 \geq 1$<br>$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_8 \geq 1$<br>$x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \geq 1$<br>$x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_8 \geq 1$<br>$x_1 + x_6 + x_7 + x_8 \geq 1$<br>$x_1 + x_6 + x_7 \geq 1$<br>$x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \geq 1$<br>$x_1 + x_2 + x_6 + x_7 + x_8 \geq 1$<br>$x_7 \geq 1$<br>$x_j \in \{0,1\} \quad \forall\, j \in J$ |

На основу добијених резултата може се закључити да је у случају ако се постави да је $D_p = 30$ потребно користити четири базне станице на следећим локацијама: Панчево, Бела Црква, Сечањ и Ковачица. Уколико би се дозволило да растојање покривања буде веће, односно 50 km, тада би се зимско одржавање могло обавити користећи две базне станице које би биле лоциране у Ковину и Ковачици. Постављањем базних станица на овај начин сви путеви I и II приоритета би могли бити покривени.

**Табела 4**: Решење проблема локације базних станица за зимско одржавање путева

| $D_p = 30$ | $D_p = 50$ |
|---|---|
| $x_1 = x_3 = x_6 = x_7 = 1, x_2 = x_4 = x_5 = x_8 = 0$ | $x_2 = x_7 = 1, x_1 = x_3 = x_4 = x_5 = x_6 = x_8 = 0$ |

## 4. ЗАКЉУЧАК

Зимско одржавање путева представља веома битну ставку сваке државе с обзиром на то да се директно одражава на безбедност и мобилност саобраћаја, као и на повећање трошкова корисника услед много веће потрошње горива због успорене и отежане вожње. Развој модела оптимизације за локације базних станица за зимско одржавање путева од изузетног значаја за унапређење активности зимског одржавања.

У разматраном примеру Банатског округа, у зависности од растојања покривања, долази се до закључка да је могуће помоћу четири или две базне станице опслужити све путеве I и II приоритета. При избору најбољег решења, а и најподеснијег растојања покривања, требало би водити рачуна о пређеним километрима сваког ангажованог возила, о броју возила и броју возача. Гледајући са финансијске стране, можемо да се запитамо да ли је исплатљивије имати две базне станице (мањи трошкови одржавања базних станица али већи трошкови горива због већег броја пређених километара) или можда повећати број базних станица јер у том случају трошкови одржавања возила, трошкови горива услед мање пређених километара, као и трошкови радне снаге, се смањују. Управо ово наведено ће бити предмет даљих истраживања аутора рада.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Ћалић, Ј., Николић, М. и Шелмић, М. (2019). Локација маневарских локомотива применом локацијског проблема покривања скупа, *XLVI Симпозијум о операционим истраживањима*, Кладово, стр. 667-671, 2019.

[2] Главић, Д., Младеновић, М. и Стевановић, А. (2015). Policy Improvements for Winter Road Maintenance in South-East Europe: Case Study of Serbia, *Public Works Management and Policy*, pp. 178-179.

[3] Noble J., Jang W., Klein C. and Nemmers, C. (2006). An Integrated Systems Approach to the Development of Winter Maintenance / Management Systems, *InTrans Project Reports 160*, pp. 1-2.

[4] План зимског одржавања путева I и II реда 2022/2023, доступно на www.putevi-srbije.rs, приступљено 23. јануара 2023.

[5] Теодоровић, Д., Димитријевић, Б. и Шелмић, М. (2015). Location analysis in transportation, In: Routledge Handbook of Transportation, Routledge, eBook ISBN9781315756684.

[6] Теодоровић, Д. (2021). Транспортне мреже, Београд, Србија, Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, стр. 390-391.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНЕ ТЕОРИЈЕ ИГАРА У ЛУКАМА – ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

# GAME THEORY APPLICATIONS IN PORTS – LITERATURE REVIEW

ИВАНА ВУКИЋЕВИЋ БИШЕВАЦ [1], ИВАНА ЈОВАНОВИЋ [2]

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, Београд, [1] i.vukicevic@sf.bg.ac.rs, [2] ivana@sf.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Теорија игара представља значајан алат који се користи у решавању проблема пословних односа између лука. У овом раду дат је преглед литературе у којој је Теорија игара коришћена за математичко модлеирање конкуренције међу лукама, као и њихове кооперације. Прегледано је и анализирано 49 радова публикованих након 2010. године.*

***Кључне речи:*** *Теорија игара, луке, кооперација, конкуренција*

***Abstract:*** *Game theory is a valuable tool for analyzing business relationships between ports. This paper presents a literature review of recent Game Theory applications in port competition and cooperation modeling. We reviewed and analyzed 49 papers published after 2010.*

***Keywords:*** *Game Theory, ports, cooperation, competition*

---

## 1. УВОД

Основне принципе Теорије игара поставио је математичар Џон фон Нојман 1928. године, а 1944. године са Оскаром Моргенштерном објавио је прву књигу из ове области *Теорија игара и економско понашање*. Теорија игара се користи за математичко моделирање и анализу понашања учесника у игри/играча у конфликтним ситуацијама у којима исход зависи и од акција/потеза осталих играча.

Циљ овог рада је да се идентификују неистражене области примене Теорије игара у моделирању функционисања лука. Након увода, у другом поглављу је дат преглед области у којима је Теорија игара примењивана у моделирању доношења одлука лучких оператера и лучких управа. Акценат је стављен на конкуренцију и кооперацију лука. У трећем поглављу описани су прегледни радови и пубикације анлизиране по различитим показатељима. Закључна разматрања представљена су у последњем, четвртом, поглављу.

## 2. ПРИМЕНА ТЕОРИЈЕ ИГАРА У ЛУКАМА

У лукама се доносиоци одлука свакодневно суочавају са конфликтним ситуацијама. Применом Теорије игара најчешће се моделира понашање лучких оператера. Међутим, постоји и мањи број радова у којима се моделира понашање лучких управа [1]–[3]. У [2] је интеракција лучке управе и два оператера при избору врсте уговора о концесији моделирана као двоетапна игра. У [3] је коришћена Бертрандова игра за одређивање лучких тарифа и такси које сваки од оператера три терминала у Пакистану плаћа лучкој управи.

### 2.1. Конкуренција или кооперација

Развој копнених видова транспорта омогућио је лукама да опслужују већа гравитациона подручја, што је довело до тога да луке више немају ексклузивна залеђа [4], а конкуренција између лука које опслужују исто залеђе је све оштрија [5]. Суочени са све оштријом конкуренцијом, оператери лучких терминала примењују различите стратегије како би повећали своју конкуретност. Конкуренција и кооперација су два основна облика пословних односа између лука, као и између различитих терминала унутар луке [6].

Конкуренција или надметање лука се може поделити на: конкуренцију унутар луке између различитих терминала и конкуренцију између различитих лука. Типични пример прве врсте надметања (конкуренције) су три терминала у луци Ротердам [7]. У [8] је анализирано надметање три терминала унутар једне луке у Пакистану.

Луке или терминали различитих лука најчешће се надмећу за исто гравитационо подручје или за добијање статуса *hub* луке за дати регион. Економски развој Азије довео је до све оштрије конкуренције између лука у овом региону и до константног улагања у лучку инфраструктуру и супраструктуру. Када је *MSC* бродарство 1999. одлучило да Шенжен лука постане једина лука у Јужној Кини у коју ће њихови бродови упловљавати [9], започело је највеће надметање за статус *hub* луке овог региона са Хонг Конгом [10], [11]. У [9] су предложена три практична решења за окончање такмичења ове две луке: стратегију диференцирања услуга, кооперацију и стратегију смањења трошкова. Надметање између лука Кобе (Јапан) и Бусан (Јужна Кореја) анализирано је у [12].

За разлику од лука које се одлучују за конкуренцију и међусобно надметање, постоје и луке које сарађују. На пример, луке Нингбо и Џоушан (Кина) су 2015. године интегрисане у Нингбо-Џоушан луку [13]. У радовима [8], [14]–[16] дати су неки од примера лучке кооперације.

Са приватизацијом јавних лука, осамдесетих година прошлог века, појављују се и прва истраживања утицаја конкуренције, кооперације и модела управљања на развој гравитационог подручја [13], [17], [18] и смањење загађења [14], [19]. У литератури се могу наћи и истраживања утицаја кооперације на еластичност и поузданост лука [20], [21].

Теорија игара је често коришћена и при доношењу одлука о инвестирању [22]–[24] и формирању лучких тарифа, неки од примера дати су у [25]–[27].

## 3. ПРИКУПЉАЊЕ ПОДАТАКА И КЛАСИФИКАЦИЈА ЛИТЕРАТУРЕ

Публикације које се баве применом Теорије игара у лукама прикупљане су помоћу *Google Scholar* сервиса. Након тога, детаљно су претражене референце у пронађеним публикацијама и сва релевантна литература укључена је у базу података. У коначној бази нашло се 49 радова публикованих од 2010. године у часописима са независним рецензентима.

Скоро половина (48,98%) радова објављена је у четири врхунска светска часописа, који се баве транспортом: *Transportation Research Part E* (8 радова) и *Transportation Research Part B* (6) или поморским транспортом: *Maritime Policy & Management* (7) и *Maritime Economics & Logistics* (3). Највећи број радова објављен је у часописима издавача *Elsevier* (28). Часописи са највећим бројем публикација приказани су на Слици 1.

**Слика 1:** Број радова у часописима

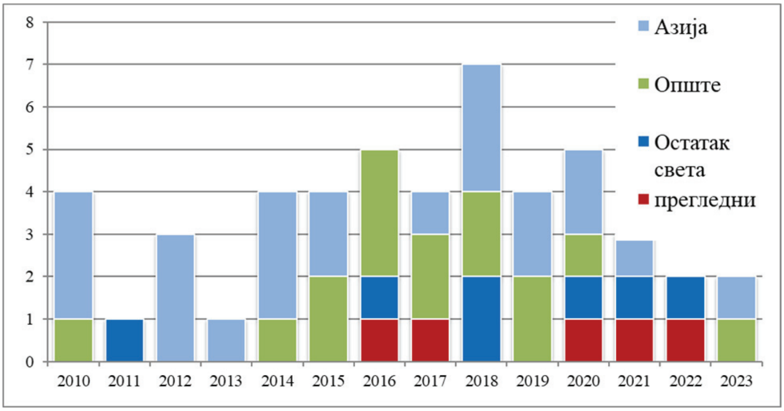
Пет је прегледних радова и они датирају од 2016. [28] до 2022. [4] године. Рад [28] обрађује примену Теорије игара у анализи конкурентности лука и стратегијама које су основа за доношење управљачких одлука. Акценат је стављен на власништво, односе између лука и њихових залеђа, односе између лучких власти и лучких оператера, доношење одлука о инвестирању у повећање капацитета, као и специјализацији лука. У раду [29] дат је преглед истраживања конкуренције лука у односу на промет и ефикасност, перформансе, избор луке за пристајање и конкурентност. Аутори [30] анализирали су 33 рада (од 2008. до 2019) које се баве применом модела Теорије игара у конкуренцији и кооперацији морских лука и контејнерских терминала у које су укључене различите интересне групе. У прегледном раду [31] анализирана је примена Теорије игара у свим видовима транспорта. Анализом су обухваћени радови из водног транспорта у којима је разматрана конкуренција и кооперација лука. Рад [4] је обухватио преглед литературе из области конкуренције и кооперације лука, као и компетитивности лука. Укупно је прегледано 210 радова (од 1970. до 2019) од којих је у 34 (16%) примењена Теорија игара. Конкуренција лука моделирана је применом Теорије игара у 24 од 75 радова (32%), за моделирање кооперације лука Теорија игара је мање коришћена у 4 од 28 радова (14%), док у области компетитивности лука нема радова који примењују Теорију игара.

Ако се упореди цитираност радова у Табели 1, може се приметити да је рад са највећим бројем цитата такође и рад са највећим бројем цитата по години [12], што говори о његовој значајности. Два најновија прегледна рада такође имају значајне цитираности.

**Табела 1:** Цитираност радова (извор: *Google Scholar*, проверавано 5.6.2023)

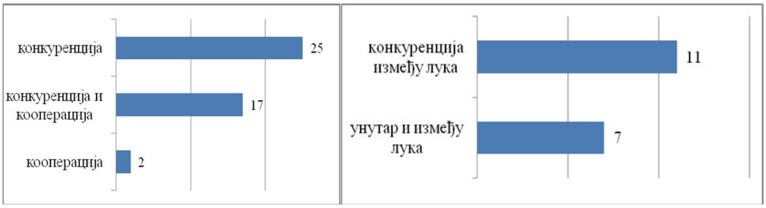
| **Рад** | **Број цитата** | **Рад** | **Број цитата по год.** | **Прегледни рад** | **Број цитата по год.** |
|---|---|---|---|---|---|
| Ishii et al. 2013 [12] | 199 | Ishii et al. 2013 [12] | 19.90 | Adler et al. 2021 [31] | 16.50 |
| Luo et al. 2012 [32] | 161 | Adler et al. 2021 [31] | 16.50 | Luo et al. 2022 [4] | 12.00 |
| Saeed and Larsen 2010 [8] | 136 | Luo et al. 2012 [32] | 14.64 | Lagoudis et al. 2017 [29] | 6.67 |
| Wang et al. 2012 [33] | 132 | Balliauw et al. 2019 [34] | 13.75 | Hidalgo-Gallego et al. 2016 [28] | 3.86 |
| Álvarez-SanJaime et al. 2015 [35] | 98 | Wang and Zhang 2018 [36] | 13.00 | Pujats et al. 2020 [30] | 3.33 |

Када је реч о географској расподели, велика већина радова обухвата луке из Азије (22 – 45%). Осим азијских, обрађиване су луке у Европи, Америци и Аустралији. Такође, велики број радова представља општа, теоријска, истраживања, без конкретне примене. Слика 1 приказује географску расподелу радова по годинама.



**Слика 1:** Географска покривеност радова по годинама

Конкуренција лука представља најпопуларнију тему (25 од 44 непрегледна рада) међу истраживачима. У 17 радова разматрана је и конкуренција и кооперација лука, док је само кооперација анализирана у свега 2 рада. Конкуренција између различитих лука тема је 7 радова, док је конкуренција између терминала унутар исте луке анализирана у 11 радова. На слици 2 приказане су расподеле броја радова према обрађиваној теми конкуренције и кооперације (лево), као и расподела према конкуренцији између или унутар лука (десно).



**Слика 2:** Број радова по темама: лево) конкуренција и/или кооперација¸ десно) конкуренција унутар једне луке или између различитих лука

Најчешће коришћена игра је Бертрандова (ценовна конкуренција између учесника у игри, истовремено доношење одлука) [3], [8], [14], [32], [37]–[45]. Модели Теорије игара који су такође заступљени су Курноова (*Cournot*) игра (одређивање понуђених количина сваког учесника у игри, истовремено доношење одлука) [14], [34], [43], [44], [46]–[48], Стакелбергов (*Stackelberg*) модел (секвенцијално доношење одлука) [21], [49], [50] и др.

## 4. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је приказан преглед литературе из области примене Теорије игара у конкуренцији и кооперацији у лукама. Истраживања везана за примену Теорије игара у лукама нису бројна иако је показано да се ова теорија може успешно користити за моделирање конфликтних ситуација у лучком пословању. Уочен недостатак примене Теорије игара у кооперацији између лука и унутар луке, као и у компетитивности лука отвара ове теме за даља истраживања примене теорије игара у моделирању набројаних појава.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] W. Gao, W. Guo, S. Zhou, S. Wu, and Z. Yang ( 2023). The evolution of the relationship among stakeholders in port integration: Evidence from tripartite evolutionary game analysis. *Ocean Coast. Manag.*, vol. 240, p. 106628.

[2] H. C. Chen and S. M. Liu. (2015). Optimal concession contracts for landlord port authorities to maximize traffic volumes. *Maritime Policy & Management*, vol. 42, no. 1, pp. 11–25.

[3] N. Saeed, O. I. Larsen, N. Saeed, and O. I. Larsen. (2010). Container terminal concessions: A game theory application to the case of the ports of Pakistan. *Marit. Econ. Logist.*, vol. 12, no. 3, pp. 237–262.

[4] M. Luo, F. Chen, and J. Zhang. (2022). Relationships among port competition, cooperation and competitiveness: A literature review. *Transp. Policy*, vol. 118, pp. 1–9.

[5] L. Trujillo, J. Campos, and I. Pérez. (2018). Competition vs. cooperation between neighbouring ports: A case study in Chile. *Res. Transp. Bus. Manag.*, vol. 26, pp. 100–108.

[6] C. A. Kavirathna, T. Kawasaki, and S. Hanaoka. (2019). Intra-port coopetition under different combinations of terminal ownership. *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 128, pp. 132–148.

[7] D. P. Song, A. Lyons, D. Li, and H. Sharifi. (2016). Modeling port competition from a transport chain perspective. T*ransp. Res. Part E Logist. Transp. Rev*., vol. 87, pp. 75–96.

[8] N. Saeed and O. I. Larsen. (2010). An application of cooperative game among container terminals of one port. *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 203, no. 2, pp. 393–403.

[9] P. Zhang, L. Yang, and H. Wang. (2010). Game analysis of price competition between Hong Kong and Shenzhen container port based on Bertrand model. 2010 2nd Conf. Environ. Sci. Inf. Appl. Technol. ESIAT 2010, vol. 2, pp. 731–734.

[10] T. M. H. Do, G.-K. Park, K. Choi, K. Kang, and O. Baik. (2015). Application of Game Theory and Uncertainty Theory in Port Competition between Hong Kong Port and Shenzhen Port. *Int. J. e-Navigation Marit. Econ.*, vol. 2, pp. 12–23.

[11] Y.-B. Shao (2012). Analysis on the Game of Co-opetition of ports in the China Yangtze Delta - Taking Shanghai port and Ningbo-Zhoushan port as an example. *J. Navig. Port Res*., vol. 36, no. 2, pp. 123–129.

[12] M. Ishii, P. T. W. Lee, K. Tezuka, and Y. T. Chang,. (2013). A game theoretical analysis of port competition. *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev*., vol. 49, no. 1, pp. 92–106.

[13] S. Zheng and M. Luo. (2021). Competition or cooperation? Ports' strategies and welfare analysis facing shipping alliances. *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev*., vol. 153, p. 102429.

[14] H. Cui and T. Notteboom. (2017). Modelling emission control taxes in port areas and port privatization levels in port competition and co-operation sub-games. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 56, pp. 110–128.

[15] G. Dong, S. Zheng, and P. T. W. Lee. (2018). The effects of regional port integration: The case of Ningbo-Zhoushan Port," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev*., vol. 120, pp. 1–15.

[16] J. Ignatius, T. S. Tan, L. Dhamotharan, and M. Goh. (2018). To cooperate or to compete: a game theoretic analysis on ports in Malaysia and Singapore. *Technol. Econ. Dev. Econ*., vol. 24, no. 4, pp. 1776–1800.

[17] A. Czerny, F. Höffler, and S. il Mun. (2014). Hub port competition and welfare effects of strategic privatization. *Econ. Transp*., vol. 3, no. 3, pp. 211–220.

[18] Y. Wan, L. J. Basso, and A. Zhang. (2016). Strategic investments in accessibility under port competition and inter-regional coordination. *Transp. Res. Part B Methodol*., vol. 93, pp. 102–125.

[19] S. Liang, X. Wang, and Z. Liao. (2023). Game Analysis of Container Ports Co-Competition and Coordinated Development in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Math. Probl. Eng., vol. 2023.

[20] A. Asadabadi and E. Miller-Hooks, "Maritime port network resiliency and reliability through co-opetition," Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev., vol. 137, p. 101916, May 2020.

[21] A. Asadabadi and E. Miller-Hooks. (2018). Co-opetition in enhancing global port network resiliency: A multi-leader, common-follower game theoretic approach. *Transp. Res. Part B Methodol*., vol. 108, pp. 281–298.

[22] I. Kaysi and N. Nehme. (2016). Optimal investment strategy in a container terminal: A game theoretic approach. *Marit. Econ. Logist*., vol. 18, no. 3, pp. 250–263.

[23] C. Wang, F. Xie, and L. Xu. (2020). Which terminals should expand investment: a perspective of internal non-cooperative competition in a port?. *Maritime Policy & Management*,vol. 47, no. 6, pp. 718–735.

[24] J. S. Seo and Y. S. Ha. (2010). The Role of Port Size and Incentives in the Choice of Location by Port Users: A Game-Theoretic Approach. *Asian J. Shipp. Logist.*, vol. 26, no. 1, pp. 49–65.

[25] Q. Zhang, W. Wang, Y. Peng, J. Zhang, and Z. Guo. (2018). A game-theoretical model of port competition on intermodal network and pricing strategy. *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev*., vol. 114, pp. 19–39.

[26] L. Dimitriou (2121). Optimal competitive pricing in European port container terminals: A game-

theoretical framework. Transp. Res. Interdiscip. Perspect., vol. 9, p. 100287.

[27] Y. Zhou and K. H. Kim. (2020). A game theoretic model and a coevolutionary solution procedure to determine the terminal handling charges for container terminals. *Comput. Ind. Eng*., vol. 144, p. 106466.

[28] S. Hidalgo-Gallego, R. Núñez-Sánchez, and P. Coto-Millán. (2017). Game theory and port economics: a survey of recent research. *J. Econ. Surv*., vol. 31, no. 3, pp. 854–877.

[29] I. N. Lagoudis, I. Theotokas, and D. Broumas. (2017). A literature review of port competition research. *Int. J. Shipp. Transp. Logist*., vol. 9, no. 6, pp. 724–762.

[30] K. Pujats, M. Golias, and D. Konur. (2020). A Review of Game Theory Applications for Seaport Cooperation and Competition. *J. Mar. Sci. Eng*., vol. 8, no. 2, p. 100.

[31] N. Adler, A. Brudner, and S. Proost. (2021). A review of transport market modeling using game-theoretic principles. *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 291, no. 3, pp. 808–829.

[32] M. Luo, L. Liu, and F. Gao. (2012). Post-entry container port capacity expansion. *Transp. Res. Part B Methodol*., vol. 46, no. 1, pp. 120–138.

[33] K. Wang, A. K. Y. Ng, J. S. L. Lam, and X. Fu. (2012). Cooperation or competition Factors and conditions affecting regional port governance in South China. *Marit. Econ. Logist.*, vol. 14, no. 3, pp. 386–408.

[34] M. Balliauw, P. M. Kort, and A. Zhang. (2019). Capacity investment decisions of two competing ports under uncertainty: A strategic real options approach. *Transp. Res. Part B Methodol*., vol. 122, pp. 249–264.

[35] Ó. Álvarez-SanJaime, P. Cantos-Sánchez, R. Moner-Colonques, and J. J. Sempere-Monerris. (2015). The impact on port competition of the integration of port and inland transport services. *Transp. Res. Part B Methodol.*, vol. 80, pp. 291–302.

[36] K. Wang and A. Zhang. (2018). Climate change, natural disasters and adaptation investments: Inter- and intra-port competition and cooperation," Transp. Res. Part B Methodol., vol. 117, pp. 158–189.

[37] Z. H. Munim, N. Saeed, and O. I. Larsen. (2018). Tool port' to 'landlord port': a game theory approach to analyse gains from governance model transformation. *Maritime Policy & Management*, vol. 46, no. 1, pp. 43–60.

[38] G. Dong and D. Zhong. (2019). Tacit Collusion of Pricing Strategy Game between Regional Ports: The Case of Yangtze River Economic Belt. *Sustain*. 2019, Vol. 11, Page 365, vol. 11, no. 2, p. 365.

[39] M. D. Nguyen and S. J. Kim. (2020). Application of game theory to analyze the competition and cooperation scenarios among container terminals in Northern Vietnam. *Asian J. Shipp. Logist.*, vol. 36, no. 1, pp. 13–19.

[40] M. Luo, L. Liu, and F. Gao. (2010). Bertrand Competition with Capacity Expansion. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, no. 2166, pp. 74–81.

[41] Nam Kyu Park and Cheol Sang Suh. (2015). Port Competition Study: Cooperative Game Model. *J. Contemp. Manag*.

[42] Song, L., Yang, D., Chin, A. T. H., Zhang, G., He, Z., Guan, W., & Mao, B. (2016). A game-theoretical approach for modeling competitions in a maritime supply chain. *Maritime Policy & Management*, vol. 43, no. 8, pp. 976–991.

[43] Cui, H., & Notteboom, T. (2018). A game theoretical approach to the effects of port objective orientation and service differentiation on port authorities' willingness to cooperate. *Research in Transportation Business & Management*, *26*, 76–86.

[44] Lee, D. J., Lim, S., & Choi, K. (2017). Port privatization under Cournot vs. Bertrand competition: a third-market approach. *Maritime Policy & Management*, *44*(6), 761–778.

[45] X. Xiao and N. Liu. (2017). Container hub port competition and cooperation in Northeast Asia. *Int. J. Shipp. Transp. Logist*., vol. 9, no. 1, pp. 29–53.

[46] T. L. Yip, J. J. Liu, X. Fu, and J. Feng. (2014). Modeling the effects of competition on seaport terminal awarding. *Transp. Policy*, vol. 35, pp. 341–349.

[47] M. Do, T. Arthanari, T. L. Olsen, T. Shalpegin, and S. Wang. (2023). Impact of number of shipping lines on ports' charges and profits: A game-theoretic model. *Nav. Res. Logist.*, vol. 70, no. 2, pp. 131–144.

[48] E. N. Kaselimi, T. E. Notteboom, and B. de Bruno. (2011). A game theoretical approach to competition between multi-user terminals: the impact of dedicated terminals. *Maritime Policy & Management*, vol. 38, no. 4, pp. 395–414.

[49] W. Zhuang, M. Luo, and X. Fu. (2014). A game theory analysis of port specialization—implications to the Chinese port industry. *Maritime Policy & Management*, vol. 41, no. 3, pp. 268–287.

[50] S. Zheng and R. R. Negenborn. (2014). Centralization or decentralization: A comparative analysis of port regulation modes. *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, vol. 69, pp. 21–40.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА МАШИНСКОГ УЧЕЊА У РЕГУЛИСАЊУ СИГНАЛНОГ ПЛАНА НА РАСКРСНИЦАМА СА СВЕТЛОСНИМ САОБРАЋАЈНИМ ЗНАКОВИМА

# APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN REGULATING THE SIGNAL PLAN AT TRAFFIC LIGHT INTERSECTIONS

БРАТИСЛАВ ЛУКИЋ[1], ГОРАН ПЕТРОВИЋ [2], ИГОР МИЛАНОВИЋ[3], СРЂАН ЉУБОЈЕВИЋ[4]

[1] Универзитет у Нишу – Машински факултет, lukic.bratislav@yahoo.com
[2] Универзитет у Нишу – Машински факултет, pgoran1102@gmail.com
[3] Академија техничко – васпитачких струковних студија Ниш – Одсек Врање, igormvr@gmail.com
[4] Универзитет одбране у Београду – Војна академија, srdjan.ljubojevic@va.mod.gov.rs

---

***Резиме:*** *Концепт континуираног развоја паметних градова фокусира се на принцип међусобне повезаности, дигитализације и аутоматизације. У овом контексту, свеприсутна доступност различитих података омогућила је примену машинског учења у различитим областима. Уско грло на раскрсници градских путева постало је важан фактор у изазивању ограничења ефикасности саобраћаја, због чега је неопходно истражити предвиђање оперативних перформанси на раскрсницама и формулисати одговарајуће стратегије за ублажавање загушења на раскрсници. Циљ овог рада је да се на основу прикупљених података о интензитету саобраћаја, временског оквира који је подељен на сегменте, дана у седмици и тренутним временским условима, применом машинског учења изврши избор оптималног сигналног плана на раскрсници регулисаној светлосним сигналима, односно смањи време чекања. Предложени модел не захтева издвајање додатних средства за постављање посебних камера, већ се користе постојеће за праћење безбедности саобраћаја на раскрсници уз повезивање са софтвером сигналног плана који константно повећава базу података за тренирање и тестирање на сатном нивоу и предлаже нови сигнални план.*

***Кључне речи:*** *машинско учење, раскрснице са светлосним сиганлима, сигнални план*

***Abstract:*** *The concept of continuous development of smart cities focuses on the principle of interconnection, digitization and automation. In this context, the ubiquitous availability of various data has enabled the application of machine learning in various fields. The bottleneck at the intersection of urban roads has become an important factor in causing the limitation of traffic efficiency, which is why it is necessary to investigate the prediction of operational performance at intersections and formulate appropriate strategies to alleviate congestion at the intersection. The goal of this work is to select the optimal signal plan at the traffic light intersection, i.e. reduce the waiting time, based on the collected data on traffic intensity, the time frame divided into segments, days of the week and current weather conditions using machine learning. With the proposed model, there is no need to allocate additional funds for the installation of special cameras, but the existing ones are used to monitor traffic safety at the intersection with a connection to the signal plan software that constantly increases the database for training and testing on an hourly basis and proposes a new signal.*

***Keywords:*** *machine learning, intersections with traffic lights, сигнал план*

---

## 1. УВОД

Готово сви градови широм света суочавају се са разним врстама саобраћајних проблема, као што су велике саобраћајне гужве, све већи број саобраћајних незгода, огромна количина емисије издувних гасова, кашњења у транспорту људи и робе и слично. Саобраћајне проблеме изазивају многи фактори. Међутим један од најзначајнијих проблема је повећање броја људи у урбаном подручју, при чему и број возила драстично расте, док путна инфраструктура расте релативно спорије, што доводи до неравнотеже између броја возила и капацитета путева, те долази до загушења у саобраћају, а самим тим повећања времена путовања учесника у саобраћају. Регулисање градског саобраћаја је једно од најважнијих и најизазовнијих питања са којима се суочавају градови. Развој регулисања градског саобраћаја током протеклих неколико деценија представља трку ради одржања корака са константним повећањем броја возила на улици. У циљу откривање радних перформанси раскрснице користе се проток саобраћаја, брзина возила, густина и заузетост саобраћајних трака као индикатори утврђивања загушења саобраћаја [1], док се за главне саобраћајне параметре раскрсница разматрају време проласка, брзина саобраћаја и време чекања [2].

Светлосни сигнали врше временску расподелу права коришћења површине раскрснице на конфликтне саобраћајне токове у складу са изабраним критеријумом управљања. Основна два критеријума у оптимизацији рада светлосних сигнала су временски губици возила на сигналисаној раскрсници и капацитет саобраћајне траке, прилаза или раскрснице. Методе оптимизације су успешно примењене за скраћење времена путовања оптимизацијом параметара времена укључења светлосних сигнала. Због доступности података, остварен је значајан напредак у откривању возила и комуникацији које су омогућиле низ промена у могућностима система регулисања градског саобраћаја, од фиксних сигналних планова до модерних интегрисаних система [3].

## 2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ РАДОВА

Предвиђање тачних саобраћајних параметара је значајно са аспекта смањења трошкова, непотребног губљења времена, заштите животне средине и др. Многе студије су усвојиле различите технике параметарског и машинског учења за предвиђање саобраћајних параметара као што су време путовања, брзина и интензитет саобраћаја.

За адаптивну контролу саобраћаја на семафоризованим раскрсницама предложено је коришћење бежичне сензорске мреже којим се омогућава прикупљање података о броју возила која прилазе и напуштају раскрсницу, њиховој брзини и дужини реда [4]. Како би се посебно регистровало стање саобраћајних токова на прилазима раскрсници и загушење и тиме омогућио знатно ефикаснији рад система као целине, предложен је мониторинг систем као додатна компонента система за контролу светлосних сигнала [5].

За праћење саобраћаја у реалном времену последњих година користе се VSN, RFID, ZigBee, VANET, Bluetooth уређаји, камере и инфрацрвени сигнали на основу чега се израђује адаптивно регулисање сигналног плана на раскрсници [6]. Увођењем дана посматрања као историјског скупа података и времена путовања на аутопутевима представљен је нови метод за процену саобраћаја у реалном времену [7], где су приказане две различите методе Гаусов модел смеше (Gaussian Mixture Model) и алгоритам к-средња вредност (k-means algorithm) који је тестиран коришћењем података прикупљених на једном аутопуту у Француској.

Методе машинског учења нашле су примену у одређивању зелених циклуса како би се подесио сигнални план и минимизовала чекања на раскрсници, при чему је коришћено к-учење (Q-learning) и неуронске мреже [8]. Појачано учење се појавило као алтернативни приступ за оптимизацију система контроле саобраћајне сигнализације [9, 10, 11, 12]. Међутим, постоји проблем када се модел контроле сигнала обучава са унапред дефинисаним сценаријима потражње у симулацији саобраћаја. Ограничено истраживање приморава модел да учи заснован на делимичним искуствима у простору претраживања, што даје делимично обучен модел за предвиђање.

## 3. МЕТОДОЛОГИЈА И МОДЕЛ

У овој студији заузетост саобраћајних трака од стране возила и пешака непосредно у близини индивидуалне раскрснице регулисане светлосном сиганлизацијом се користи као индикатор одређивања циклуса, односно сигналног плана што се види на Слици 1. Затим се на основу добијеног сигналног плана на основу интезитета саобраћаја, временског оквира у виду дана и сата, као и временских услова и окружења врши тренирање података за израду алгоритма машинског учења, након чега се врши тестирање података и избор најбољег предиктног модела. Обзиром да је саобраћај промењлива категорија подаци о интезитету саобраћаја настављају да се прикупљају током времена, при чему се за сваки час врши прорачун сигналног плана. Након добијених предиктивних модела сигналног плана по часовима врши се упоређивање његове ефикасност у односу на постојећи сигнални план на раскрсници.

**Слика 1:** *Предложени модел*

### 3.1. Детекција и бројање возила и пешака

Помоћу камера на раскрсницама путева, постигнут је значајан напредак у моделирању окружења, откривању возила, праћењу и анализи понашања [13]. Велики број радова система видео надзора заснива се на више камера, при чему се врши обрада информација са сваке камере независно, а затим се изврши фузија [14, 15]. Аналитички системи засновани на визији углавном се фокусирају на бројање, док неки од напреднијих система такође омогућавају класификацију по типу возила која омогућава детаљне статистичке информације [16, 17]. Значајну примену у детекцији возила, односно аналитици саобраћаја нашао је метод “Single Shot MultiBok Detector” који убрзава закључивање, јер се слике ниже резолуције користе као улазни подаци [18, 19].

Обзиром на распорстрањеност видео камера за надзор саобраћаја на раскрсницама подаци у раду ће се користити из реалних услова, који ће се тестирати кроз симулације интензитета саобраћаја [20, 21]. За наш рад није потребна обрада података у реалном времену, већ можемо користити податке добијене из видео записа, обзиром да нам интензитет пешачког и моторног саобраћаја служи за одређивање сигналног плана, где је значајно време бројања учесника у саобраћаја ради формирања временских серија. У раду је коришћен “Single Shot MultiBok Detector” да бројање возила на путу, тако да прати свако откривено возило током времена да би се избегло бројање једног возила више пута. Прикупљање података у овој студији се врши по циклусима већ постојећег сигналног плана на раскрсници, међутим због велике количине података подаци су груписани на часовном нивоу. Након детекције возила, односно пешака, врши се скупљање података о броју возила и пешака на часовном нивоу за предметну раскрсницу.

### 3.2. Детекција временских услова и окружења

Време и брзина путовања су два саобраћајна параметра транспортног система на које временске прилике могу у великој мери да утичу кроз погоршање услова на путу, избора начина превоза, повећања број возила и стварањем „чепова“ пре свега на раскрсницама [22, 23]. У овој студији користиле су се апликације доступне преко јавних платформи који дају податке о временским условима у реалном времену. Категорије временских услова и падавина су посматране по следећем: сунчано/ ведро (за ноћне услове), облачно, ситна киша, киша средњег интензитета, обилно кишовито/ град, магла, снег. Такође, поред временских услова у раду је разматрана температура ваздуха која је подељена у 7 категорија (подељена по сегментима на 10°C, где се температуре испод -15°C и изнад 35°C разматрају као посебан сегмент). Разматрањем падавина и температуре ваздуха добија се реална слика временских услова којима су изложени учесници у саобраћају, а самим тим и оптерећење раскрница.

### 3.3. Формирање модела

У циљу постављања адаптивног сигналног плана фомира се више различитих сигналних планова заснованих на засићењу саобраћајног тока у току једног сата, који ће бити активирани на основу броја возила и пешака који се предвиђају за конкретни сат, одређеног дана у седмици и учитаним временским условима. На основу прикупљених података о броју возила, пешака, дана у седмици, часу врши се формирање модела применом машинског учења чиме се предвиђа број возила и пешака за наведене услове. Активирање одређеног сигналног плана зависи искључиво од броја возила и пешака добијених предложеним моделом. Такође, у случају да је број возила мањи од 200 у једном часу, врши се искључење светлосних саобраћајних знакова и примењује се правила на основу саобраћајних знакова, односно правило десне стране.

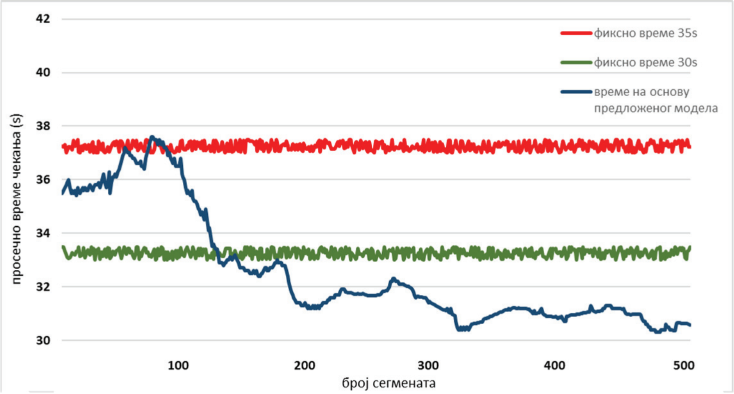
## 4. ЕКСПЕРИМЕНТ И РЕЗУЛТАТИ

### 4.1. Подаци и тренинг

У овом истраживању прикупљање података је вршено за четворокраку раскрсницу у Врању, које формирају Булевар Патријарха Павла, улица Краља Стефана Првовенчаног и улица Партизански пут са по две саобраћајне траке у једном смеру. На раскрсници је успостављен сигнални план, где је фиксно време чекања, односно време трајања црвеног сигнала за примарну улицу 30s, а за секундарну 35s. Обзиром да је прикупљање података вршено у току 21-ог дана у априлу 2023. године када су биле честе смене топлих, хладних, сунчаних и кишовитих дана, може се рећи да су подаци добијени из временских услова били репрезентативни, али и не у потпуности довољни за превиђање интензитета саобраћаја у току целе календарске године. У наведеном периоду обрађено 542.794 возила и 204.234 пешака, на основу чега је формирано 500 епизода, односно сегмената. Од пуног скупа података, 450 је коришћено за обучавање модела, док је насумичних 50 служило за проверу модела.

### 4.2. Резултати

За потребе истраживања коришћен је рачунар са 6 CPU процесором (INTEL Core i5-12400 2.50 GHz), grafička kartica NVIDIA GeForce GTX 1650 и 32G RAM. Модел је имплементиран коришћењем Pithon 3.7 u MATLAB на Windows 16. Предвиђање броја возила и пешака на раскрсници вршено је применом машинског учења, где је модел „Support Vector Mashine – SVR“ приказао најбоље резултате предвиђања након чега је изабран одговарајући сигнални план. На Слици 2. приказан је упоредни преглед просечног чекања на раскрсници применом фиксног сигналног плана и предложеног адаптивног сигналног плана на основу учења кроз податаке из прошлости. Просечно време чекања применом сигналног плана са фиксним временом је увек дуже од 33s, док је применом наведеног модела машинског учења након 100 итерација формирањем адаптивног сигналног плана смањено просечно чекање за 7.6%. Анализа сигналних планова са фиксним временом и адаптивним је вршено кроз симулацију AIMSUN. Резултат предложеног модела је смањење загушења саобраћајног тока, а самим тим и просечно чекање које је скраћено за 2.69s.



**Слика 2:** *Просечно време чекања за фиксни и предложени адаптивни сигнални план*

## 5. ЗАКЉУЧАК

У раду је приказан један од могућих начина формирања адаптивног сигналног плана применом података из прошлости који се константно надопуњују. Иако је у раду обрађен мали временски период, а самим тим је и мали број улазних података, исти је показао да је просечно чекање на раскрсници смањено у односу на фиксни сигнални план. Повећањем улазних података, односно снимањем стања на раскрсници у дужем временском периоду модел би био репрезентативнији и изгледно је веће смањење чекања. Међутим, и поред тога што је релативно мала разлика у просечном смањењу чекања, она је значајна како за смањење емисије штетних гасова, тако и за повећање протока саобраћаја. Недостатак овог приступа решавања предметног проблема је потреба за складиштењем огромне базе података и ограниченост коришћења ресурса са видео записа која су у надлежности Министарства унутрашњих послова.

Правци будућих истраживања орјентисани су на прикупљање података за временски период од годину дана и формирања модела на бази историјских података, а затим формирање модела који се заснива на формирању адаптивног сигналног плана у реалном времену, након чега би се извршила анализа сва три потенцијална модела сигналног плана са економског, саобраћајног и аспекта заштите животе средине.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] He, F.F., Yan, X.D., Liu, Y., Ma, L. A. (2016). Traffic congestion assessment method for urban road networks based on speed performance index. *Elsevier, Procedia Engineering*, 137, 425-433.

[2] Chen, D., Yan, X., Liu, X., Wang, L., Li, F., Li, S. (2021). Multi-task fusion deep learning model for short-term intersection operation performance forecasting. *Remote Sens*. 13, 1919.

[3] Hamilton, A., Waterson, B., Cherrett, T., Robinson, A., Snell, I. (2013). The evolution of urban traffic control: Changing policy and technology. *Transportation Planning and Technology*, 36, 24-43.

[4] Yousef, K. M., Al-Karaki, M. N., Shatnawi, A. M. (2010). *Intelligent traffic light flow control system using wireless sensors networks. J. Inf. Sci. Eng.*, 26(3), 753-768.

[5] Kareem, E. I. A., Jantan, A. (2011). An intelligent traffic light monitor system using an adaptive associative memory. *International Journal of Information Processing and Management*, 2(2), 23-39.

[6] Nellore, K., & Hancke, G. P. (2016). A survey on urban traffic management system using wireless sensor networks. *Sensors*, 16(2), 157.

[7] Chiabaut, N., Faitout R. (2021). Traffic congestion and travel time prediction based on historical congestion maps and identification of consensual days. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 124, 102920

[8] Araghi, S., Khosravi, A., Johnstone M., Creighton, D. (2013). Intelligent traffic light control of isolated intersections using machine learning methods. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 3621-3626.

[9] Abdulhai, B., Pringle, R., & Karakoulas, G. J. (2003). Reinforcement learning for true adaptive traffic signal control. *Journal of Transportation Engineering*, 129 (3).

[10] Gong, Y., Abdel-Aty, M., Yuan, J., Cai, Q. (2020). Multi-objective reinforcement learning approach for improving safety at intersections with adaptive traffic signal control. *Accident Analysis & Prevention*, 144, 105655.

[11] Abdoos, M., Bazzan, A. L. (2021). Hierarchical traffic signal optimization using reinforcement learning and traffic prediction with long-short term memory. *Expert systems with applications*, 171, 114580.

[12] Maiti, N., Chilukuri, B. R. (2021, January). Traffic signal control for an isolated intersection using reinforcement learning. *IEEE. In 2021 International Conference on COMmunication Systems & NETworkS (COMSNETS),* 629-633.

[13] Hu, W., Tan, T., Wang, L., Maybank. S. (2004). A survey on visual surveillance of object motion and behaviors. *Systems, Man, Journal Of IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions*, 34, 334-352.

[14] Hu, Z., Wang, CH., Uchimura, K. (2007). 3d vehicle extraction and tracking from multiple viewpoints for traffic monitoring by using probability fusion map. *In Intelligent Transportation Systems Conference. ITSC 2007. IEEE*, 30-35.

[15] Tang, H. (2013). Development of a multiple-camera tracking system for accurate traffic performance measurements at intersections. *Intelligent Transportation Systems Institute. Center for Transportation Studies. University of Minnesota*.

[16] R. Cucchiara, M. Piccardi, P. Mello. (2000) Image analysis and rule based reasoning for a traffic monitoring system. *IEEE Trans. Intell. Transp. Systems,* 1, 119-130.

[17] Zhiqiang, W., Jun, L. (2017). A review of object detection based on convolutional neural network. *36th Chinese Control Conference CCC. IEEE. Dalian. China*, 11104-11109.

[18] Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. Y., Berg, A. C. (2016). SSD: Single shot multibox detector. *In European conference on computer vision. Springer, Cham*, 21-3.

[19] Chen, W., Qiao, Y., Li, Y. (2020). Inception-SSD: An improved single shot detector for vehicle detection. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-7.

[20] Barceló, J. and Casas, J. (2005). Dynamic network simulation with AIMSUN. *In Simulation Approaches in Transportation Analysis. Springer: Berlin/Heidelberg Germany,* 57–98.

[21] Casas, J., Ferrer, J. L., Garcia, D., Perarnau, J., & Torday, A. (2010). Traffic simulation with aimsun. *Fundamentals of traffic simulation*, 173-232.

[22] Koetse, M. J., Rietveld, P. (2007). Climate change, adverse weather conditions, and transport: a literature survey. *In Proceedings of the 9th NECTAR Conference*.

[23] Tsapakis, I., Cheng, T., Bolbol, A. (2013). Impact of weather conditions on macroscopic urban travel times. *Journal of Transport Geography*, 28, 204-211.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# THE FRAM METHODOLOGY AS A TOOL FOR RISK ASSESMENT: AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEM EXAMPLE

DOROTEJA TIMOTIC PETKOVIC[1], FEDJA NETJASOV [1]

[1] University of Belgrade – Faculty of Transport and Traffic Engineering, Division of Airports and Air Traffic Safety, d.timotic@sf.bg.ac.rs, f.netjasov@sf.bg.ac.rs

***Abstract:*** *The functional resonance analysis method (FRAM) is a system-based method to understand highly complex socio-technical systems. It learns from safety occurrences or undesirable states and can be used to understand how things go well in a system. The FRAM method is particularly useful for risk assessment and accident investigations within complex systems that consist of a large number of components that need to be viewed as a whole. One of such systems is the Air Traffic Control (ATC) system, which, due to the increase in traffic and various system changes, has become more and more complex over the years. For this reason, this paper is about showing the importance of using the FRAM method. The methodology is shown on the example of normal air traffic controller (ATCO) activity within the ATC system.*

***Keywords:*** *Functional Resonance Analysis method, Complex systems, Air Traffic Control, Safety.*

## 1. INTRODUCTION

Complex systems include different sets of humans, technologies and organisation that interact with each other in many industrial domains. The essential characteristic of these systems is the fact that the presence of one factor may not necessarily lead to unwonted outcome, and vice versa. In other words, the complex systems are characterized by nonlinearity [1]. These systems consist of great number of interacting components that affect and are affected by one another. The system is usually robust and able to manage and absorb any minor variability. However, there are some situations in which system's components may degrade system's work. This is because of the fact that the interactions between different components are dynamic and emergent rather that static and ancillary which make the system behavior difficult to predict [1, 2]. When dealing with complex systems, the real challenge is its risk and safety assessment. Sometimes, traditional risk assessment methods are not adequate to apply, especially when there are a large number of complex interactions between system elements. Such interactions cannot only be explained using causal methods and looking at each element and cause individually. The traditional simple linear relationship cannot explain the entire complex socio-technical systems comprehensively [1]. Also, such a way of risk assessment is not possible in the case when it is necessary to predict and assess in advance what could happen and what can disrupt the operation of the system. Practically, risk assessment requires a good representation of the current system along with future events. The representation must be good enough to capture the functional complexity of the system being analyzed [3].

One of the methods that are highly used for analyzing complex systems is the Functional Resonance Analysis method, knowing as FRAM. FRAM is system-based analysis method that analyses the whole system and focuses on its functioning rather than the structure of its components. FRAM was developed by Hollnagel in 2004 [4] to investigate incidents and accidents in social-technical systems. This methodology is especially important in ultra safe systems where learning only from accidents is not sufficient to understand the interactions between human, technology and organizations [1]. Such a system is an Air Traffic Control (ATC) system that comprises of human, technological and organizational components interacting mutually within the system. The complexity of ATC system is related to the number of elements and the nature of the interactions in the system. Also, ATC system is characterized by large problem space, distributed dynamic, potentially high hazards, many coupled subsystems and automated uncertain data. All of these, with the great amount of technology, required to meet ATC performance demands, leads to a high level of system complexity [5]. The increased complexity is also likely to result in an increased level of unpredictability of system behavior where actions have unexpected and potentially adverse consequences [6]. Because of all of the above, there was a need to use new methods and methodologies for risk and safety assessment in the ATC system. The FRAM method is one of the possible methods that could be used for this purpose.

The aim of the paper is to present the given method and its application in risk and safety analysis in complex systems such as ATC. FRAM methodology is presented through example in normal operation of ATC system.

## 2. FROM SOCIO-TECHNICAL SYSTEMS TO RESILIENCE ENGINEERING

The concept of socio-technical system is the precondition for successful organizational performance, but also, sometimes for unsuccessful. This kind of system is created by interactions between social and technical factors that can be both linear-cause and effect relationships, and non-linear emergent relationships [7]. The important notion is that performances of these systems cannot be optimized by the social or technical aspects alone, due to the possibility of unfavorable connections that can harm the system. The problem of safety assessment of socio-technical systems is in fact that with the its evolution, the system is becoming more complex, increasing the number of interactions and connections of its elements.The traditional safety models (such as Domino model, Swiss cheese model for accident investigation, or event trees and fault trees) represent events as chains or sequences of cause and effects, either as simple linear progressions or as a combination of paths [7]. However it is common that relationships between system’s components are non-linear and may be unpredictable from the preceding events. In this context, the events are better explained as a result of coincident rather than as a result of causal relations. This is precisely the result of socio-technical systems being intractable systems. Such systems are characterized by a large number of details, the principles of functioning are mostly unknown, as well as becoming larger and to have tighter coupling among subsystems, often due to external demands to efficiency and productivity [7]. Accordingly, to do risk and safety assessment in such systems it is important to describe system in detail by referring to a set of scenarios and corresponding required functionality. Resilience Engineering (RE) represents such an approach.

The RE was developed as an idea by the group of safety scientist and practitioners at the beginning of XXI century as a need to find innovative ways to deal with risks in socio-technical system that are becoming more complex and tightly coupled. Nowadays, in the literature it can be found a lot of definitions of the Resilience, which in principle say the same thing, namely that Resilience is the intrinsic ability of a system to adjust its functioning prior to, during, or following changes under both expected and unexpected conditions [8]. RE implies the adoption of a systemic safety assessment method where the analysis should be only performed by considering larger picture where the system is considered as a whole rather than as an assembly of components. Also, RE is looking for normal system operation as a source of both system success and failure. Accordingly, RE requires a method that considers safety and accidents as emergent phenomena that are the result of normal functioning of the socio-technical system and should be able to take into consideration human performance in a way to describe performance variability [5]. The FRAM [4] proposes a methodology to identify and assess performance variability. Based on a functional modeling, the FRAM shares RE assumptions about the complex socio-technical systems and recognizes in it the need for local adjustments.

## 3. FUNCTIONAL RESONANCE ANALYSIS METHOD

Since its establishment, experts from different disciplines have applied FRAM to a range of systems or contributed to developing FRAM theory and methods. Applying FRAM can facilitate a better and more in depth understanding of interactions between complex system functions. FRAM [4] characterizes socio-technical systems by the functions they perform rather than by how they are structured. In FRAM, the system failure can be described in terms of the resonance of normal performance variability. The non-linear propagation of events can be represented and it is possible to account for adverse outcomes in cases where there were no manifest or failures. It is important to analyse actual work and to understand how the work is actually carried out ("work as done") rather than to look just into the way how the work should be performed ("work as imagined") [8]. FRAM methodology is expanded from accident model to a more general analysis method. This includes the fact that there are possible variabilities in the daily work between system components. Thus, any single instance of variability could not lead to an accident, but under specific conditions, these variabilities may lead to functional resonance, causing an undesired outcome or even crashing the whole system [1].

The principle of FRAM is to characterise individual system functions independently of how they may be connected in a specific situation. As an accident investigation and safety assessment method, FRAM is based on four principles [4] such as:

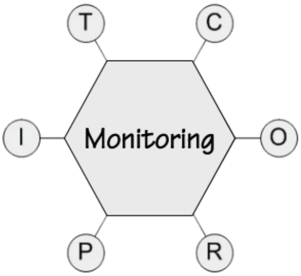
- **The principle of equivalence of successes and failures.** Success depends on the ability of organisations, groups and individuals to anticipate risks and critical situations, to recognise them in time, and to take appropriate action; failure is due to the temporary or permanent absence of that ability.
- **The principle of approximate adjustments.** The conditions of work never completely match what has been specified or prescribed; individuals and organisations must always adjust their performance so that it can succeed under the existing conditions, specifically the actual resources and requirements.
- **The principle of emergence.** Both failures and normal performance are emergent rather than resultant phenomena, because neither can be attributed to or explained only by referring to the (mal)functions of specific components or parts.
- **The principle of functional resonance.** The variability of a number of functions may every now and then resonate, reinforce each other and thereby cause the variability of one function to exceed normal limits. The consequences may spread through tight couplings rather than via identifiable and enumerable cause-effect links. This can be described as a resonance of the normal variability of functions, hence as functional resonance.

### 3.1. FRAM analysis

FRAM can be used both for an accident investigation and for a safety assessment. The major steps are the same, but some details required for the accident investigation will be different from those for safety assessment. In case that something has happen already, performance conditions will be known, while if the analysis is for some potential events in the future, performance conditions must be estimated. Before starting any analysis, it is necessary to clearly define for what purpose the FRAM method will be used. A precondition for the use of the FRAM, for risk assessment, is the definition of the overall functionality and boundaries of the socio-technical system to be analysed [5]. In this paper, the FRAM method for risk assessment will be shown on the example of activities within ATC system through the presentation of normal activities of en-route air traffic controllers (ATCOs). The main idea is to present the performance variability of different functions. FRAM methodology consists of several steps that will be explained in the following text through an example. The present illustration was performed in FRAM Model Visualiser tool. It is important to point out that the data for the presented FRAM illustration were collected based on the relevant literature.

FRAM analysis steps [4] are the following:

**Step 1.** Identification of essential system functions and description of each function by six functional aspects or parameters (Figure 1). Once the focus and level of the modelling have been determined, the functions of the socio-technical system have to be identified. A function is an activity of the socio-technical system towards a specific object. A function is governed by the motive to ensure the functioning of the overall socio-technical system, which, as scope, is wider than the mere accomplishment of the action or task. The principle that guides the identification of functions is the need to achieve a description of the normal activities performed by the socio-technical system being analysed [5]. For the ATC system example, ten functions are identified representing the normal activity of an ATCO. The work of an ATCo is presented through functions that are performed on a daily basis. These functions are necessary (and sufficient) for the intended (correct) performance to be produced (when "things go right"). Nine functions are foreground such as: „Data provision on CWP", „Meteorological Data Provision"„„Monitoring", „Planning", „Coordination", „Strip Marking", „ATCO-Pilot Communication", „ATCO-ATCO Communication", „Conflict Detection" and „Decision Making". The function „Teamwork" is background function and it arises from the interactions of previous functions.



| Monitoring | Description |
|---|---|
| Input | Updated data from FDPS; Updated flight data from radar; Updated situation in next sector; Updated MET data |
| Output | Flight is monitored; ATCO awareness of situation i observed sector |
| Preconditions | ATCO training, health and working conditions |
| Resources | Availability and working status of systems and tools; Availability of executive and planner ATCO |
| Time | Dependent on situation, continuous activity competing with other activities |
| Control | Monitoring procedures; Safety culture; Risk assesment |

**Figure 1.** Identification of function aspects, example of the function Monitoring.

Each function should be described by the six aspects (Figure 1). These aspects are: Input (I) that functions uses or transforms and produces an output, Output (O) which function produces and is the result of the function, Preconditions (P) that must be fulfilled to perform a function and which are existing before performing the function, Resources (R) that function needs or uses to produce the output, Time (T) presenting temporal constraints affecting the function, and Control (C) which supervises or adjusts the function. Each function may be described by a simple table (Figure 1), which then can be used for the further analysis. Note that not all aspects need to be filled in table, with the exception of Input and Output, the aspects should only be filled in if they are relevant to the function.

**Step 2.** The identification of the couplings between functions. This can be done by linking together the functions according to the description provided by tables. The instantiation can be used as the basis for taking the effect of the variability of functions and how this may create outcomes that propagate through the system [7]. Figure 2 represents the instantiation of the table-based description for the ATC system and it shows the nominal functioning system.

**Step 3.** The assessment of potential variability through Common Performance Conditions (CPCs) and variability phenotypes. Eleven CPCs are identified: availability of resources (personnel and equipment), training and experience (competence), communication quality, human-machine interaction and operational support, availability of procedures, work conditions, number of goals and conflict resolution, available time/time pressure, circadian rhythm and stress, team collaboration, and organizational quality. Depending on a given scenario or a given set of assumptions, each CPC can be rates as „adequate", „inadequate" or „unpredictable" (Figure 3, Monitoring example). According to [4] in presence of „adequate“ CPCs, functions have „small performance variability“; in presence of „inadequate“ CPCs, functions have „noticeable“ to „high“ performance variability; in presence of „unpredictable“ CPCs functions have „high“ to „very high“ performance variability [4, 5]. The CPCs may be used to assess functions as they are actually performed in practice (in cases where data are available). In the present example, CPCs assessment in this way was impossible because data on actual use are yet to be collected. Also, since the functions can be very heterogeneous it is  to note that they are not all affected by the CPCs in the same way. Because of that, it is important to distinguish functions in three categories: human (M), technology (T) and organisation (O) (Figure 4).

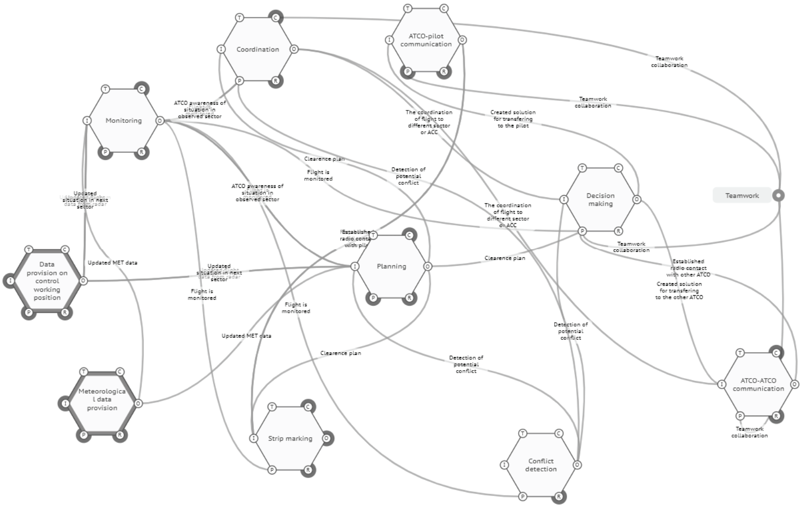


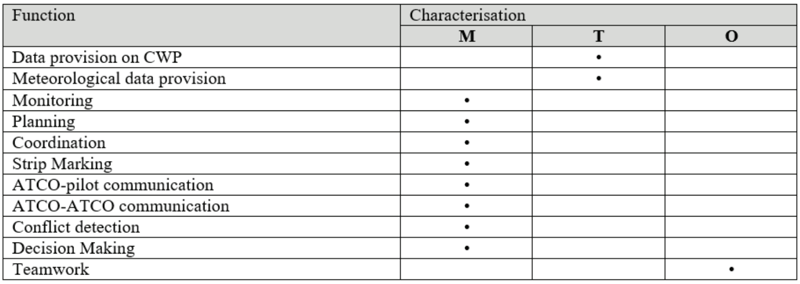
Figure 2. FRAM nominal instantiation for ATC system

**Step 4.** The identification of functional resonance based on possible dependencies or coupling among functions and the potential for variability. The output of the functional description of step 1 is a list of functions each with their six aspects. These functions may be coupled via their aspects. For example, the output of one function may be an input to another function, or provide a resource, fulfil a pre-condition, or enforce a control or time constraint.

**Step 5.** The identification barriers for variability (which in the case of safety are damping factors) and specifies required performance monitoring. Barriers are hindrances that may either prevent an unwanted event to take place, or protect against the consequences of an unwanted event [4]. Note that the last two steps will be performed after collecting the actual data.

| Common Performance Conditions | Characterisation | Rating |
|---|---|---|
| Availability of resources | Understaffing | Inadequate |
| Training and experience | Adequate | Adequate |
| Quality of communication | Adequate | Adequate |
| HMI and operational support | Old equipment | Unpredictable |
| Availability of procedures | Clear procedures | Adequate |
| Work conditions | Too many traffic to be observed | Unpredictable |
| Number of goals and conflict resolution | Efficient | Adequate |
| Available time/time pressure | Time presure is present | Unpredictable |
| Circadian rhythm and stress | Stress | Unpredictable |
| Team collaboration | Good | Adequate |
| Organizational quality | No feedback | Inadequate |

Figure 3. Common Performance Conditions evaluation for „Monitoring“ function - illustration



| Function | Characterisation | | |
|---|---|---|---|
| | M | T | O |
| Data provision on CWP | | • | |
| Meteorological data provision | | • | |
| Monitoring | • | | |
| Planning | • | | |
| Coordination | • | | |
| Strip Marking | • | | |
| ATCO-pilot communication | • | | |
| ATCO-ATCO communication | • | | |
| Conflict detection | • | | |
| Decision Making | • | | |
| Teamwork | | | • |

**Figure 4.** The division of functions by M, T and O category

## 4. CONCLUSION

FRAM methodology enables a non-linear propagation of events and also allows negative outcomes to be accounted for in cases where there were no obvious failures or malfunctions. The main goal of FRAM application is to show individual system functions independently of how they may be connected in a specific situation. In this paper, an attempt was made to draw attention to the importance of using this method for risk assessment within a complex system. The FRAM methodology is shown on the example of normal ATCO activity within the ATC system. What should be emphasized is the fact that the FRAM method represents a qualitative representation and that possible ways of quantification should be taken into account for further analysis. Also, further research will continue through the collection of real data and the creation of different scenarios that will contain certain types of changes that are possible within the ATC system with the aim of showing performance variability and evaluating the safety and resilience of the system.

## 5. ACKNOWLEDGENT

This research was conducted with support from the Project number 36033 commissioned by the Ministry of Education, Science and Technological development of the Republic of Serbia.

## REFERENCES

[1] Tian, W., & Caponecchia, C. (2020). Using the functional resonance analysis method (FRAM) in aviation safety: a systematic review. *Journal of advanced transportation*, *2020*, 1-14.

[2] Ladyman, J., Lambert, J., & Wiesner, K. (2013). What is a complex system?. European Journal for Philosophy of Science, 3, 33-67.

[3] Hollnagel, E. (2011). Introduction to FRAM: the functional resonance analysis method. University of Southern Denmark.

[4] Hollnagel, E. (2004). Barriers and accident prevention. Aldershot: Ashgate

[5] Macchi, L. (2010). A Resilience Engineering approach for the evaluation of performance variability: development and application of the Functional Resonance Analysis Method for air traffic management safety assessment (Doctoral dissertation, École Nationale Supérieure des Mines de Paris).

[6] Hollnagel, E., & Woods, D. D. (2005). Joint cognitive systems: Foundations of cognitive systems engineering. CRC press.

[7] Hollnagel, E. (2012). An Application of the Functional Resonance Analysis Method (FRAM) to Risk Assessment of Organisational Change.

[8] Hollnagel, E. (2010). Prologue. In: E. Hollnagel, J. Pariés, D. D. Woods & J. Wreathall. Resilience engineering in practice: A guidebook. Farnham, UK: Ashgate

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРЕДВИЂАЊЕ ПРИХВАТЉИВОСТИ НАПЛАТЕ ЗАГУШЕЊА ПРИМЕНОМ ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА

# PREDICTION OF ACCEPTABILITY OF CONGESTION PRICING USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ЈЕЛИЦА КОМАРИЦА[1], ДРАЖЕНКО ГЛАВИЋ [1], МАРИНА МИЛЕНКОВИЋ [1]

[1]Саобраћајни факултет, Универзитет у Београду, {j.komarica, drazen, marina.milenkovic}@sf.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Наплата загушења (CP) представља меру коју саобраћајно загушени градови све чешће примењују у циљу смањења негативних ефеката од стране путничких аутомобила. Многи градови који су успешно имплементирали CP, сусрели су се са позитивним ефектима ове политике, док су поједини, суочени са недовољном јавном и политичком подршком, доживели неуспех. Имајући у виду претходно наведено, циљ овог рада представља развој адекватног модела за предвиђање прихватљивости CP политике, на основу података анкетираних становника централне зоне (CZ) Београда. Развијена су два модела вештачких неуронских мрежа (вишеслојни перцептрон (MLP) и мрежа радијално базне функције (RBF)). Резултати истраживања указују да мрежа заснована на MLP моделу, указује на већу осетљивост, специфичност и тачност у предвиђању прихватљивости CP у односу на RBF модел.*

***Кључне речи:*** *наплата загушења, прихватљивост од стране јавности, вештачке неуронске мреже, вишеслојни перцептрон, радијално базна функција*

***Abstract:*** *Congestion pricing (CP) is a measure that traffic-congested cities are increasingly applying in order to reduce the negative effects of passenger cars. Many cities that have successfully implemented CP have experienced the positive effects of this policy, while some, faced with insufficient public and political support, have experienced failure. Bearing in mind the above, the goal of this work is the development of an adequate model for predicting the acceptability of the CP policy, based on the data of surveyed residents of the central zone (CZ) of Belgrade. Two models of artificial neural networks (multilayer perceptron (MLP) and radial basis function (RBF) network) were developed. The research results show that the network based on the MLP model indicates a higher sensitivity, specificity and accuracy in predicting the acceptability of CP compared to the RBF model.*

***Keywords:*** *congestion pricing, public acceptability, artificial neural networks, multilayer perceptron, radial basis function*

## 1. УВОД

Зависност од употребе путничког аутомобила и све већи пораст степена моторизације током година, значајно је утицао на настанак саобраћајног загушења у многим градовима. С тим у вези, деценијама уназад је наплата загушења (CP) препозната као веома ефикасна транспортна мера којом се може управљати саобраћајним захтевима. Концепт CP политике, заснива се на идеји да аутомобилима треба наплаћивати коришћење централне градске зоне, при чему се корисници мотивишу да промене вид превоза или време путовања и/или да користе руте које не пролазе кроз центар града [1].

Бројна истраживања су показала да наплата загушења има значајне користи и позитивне утицаје на друштво у градовима са проблемом загушења, као што су повећање учешћа јавног превоза у видовној расподели, уштеде у времену путовања и потрошњи горива, смањење загађења ваздуха итд [2]. Међутим, важно је истаћи да успешна имплементација наплате загушења зависи пре свега од подршке јавности [3]. С тим у вези, креирањем једне такве мере, мора се на рационалан начин постићи равнотежа између локалних потреба становника урбаних зона и тарифне политике транспортне мере.

Циљеви овог рада су да се предвиди прихватљивост увођења наплате загушења од стране становника Београда, као и кључни фактори који утичу на прихватљивост ове мере, уз помоћ MLP и RBF модела вештачких неуронских мрежа. С тим у вези, остатак рада је организован на следећи начин, у другом поглављу је дефинисано подручје истраживања и начин прикупљања података уз дате формулације модела, у трећем поглављу су приказани резултати и дискусије поређењем резултата оба модела, и у четвртом, последњем поглављу су дата кључна разматрања.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА РАДА

### 2.1. Подручје истраживања и прикупљање података

Са тренутном популацијом од око 1,7 милиона, становници Београда остваре око 3,1 милиона кретања дневно. Због брзог урбаног развоја и повећаног броја путничких аутомобила, којих у Београду има 650 хиљада, централна градска зона је све више и све чешће саобраћајно загушена. Имајући то у виду, предмет истраживања овог рада је ужа централна градска зона Београда, познатија под називом „круг двојке“.

Ставови корисника прикупљани су упитником, у периоду од априла до маја 2023. Циљну групу су чинили сви становници Београда. Упитник је комбиновао питања о откривеним преференцијама по питању постојећих навика приликом свакодневних кретања и изјављеним преференцијалним питањем, како би се анализирао став испитаника по питању прихватљивости увођења наплате загушења по цени од 150 динара која би важила цео дан. Након што су из укупног узорка уклоњени некомплетни упитници са нелогичним одговорима, валидан узорак коришћен у даљој анализи чинио је 200 испитаника.

### 2.2. Статистичка анализа

У овом раду, за предвиђање прихватљивости наплате загушења, коришћен је линеарни математички модел у виду логистичке регресије у софтверском пограму IBM SPSS 22. Као улазне варијабле коришћена су питања из упитника, у виду 15 атрибута, као и код модела неуронских мрежа, док је на излазу коришћен бинарни атрибут где једна класа означава одговор „Да“, а друга одговор „Не“. Од поменутих 15, 4 атрибута су се односила на социо-демографске карактеристике испитаника, док су остали дефинисали карактеристике кретања и учесталости употребе CZ, као и поседовање путничког аутомобила.

### 2.3. Развој модела

За имплементацију два модела, коришћен је софтвер IBM SPSS 22. На основу скупа података прикупљених из упитника, приступа се развоју модела вишеслојног перцептрона (Multilayer Perceptron – MLP) и радијалне базне функције (Radial Basis Functions – RBF) у оквиру вештачких неуронских мрежа. MLP алгоритам се састоји од перцептрона који израчунава један излаз ($y$) из више улаза ($x_i$), креирајући линеарну комбинацију на основу њихових улазних тежина ($w_i$). Додавањем шума ($b$) утиче се на повећање тежинске суме улаза, што је и приказано формулом (1) [4].

$$y = f\left(\sum_{i=1}^{n} x_i w_i + b\right) \tag{1}$$

Са друге стране, RBF мрежна структура се састоји од улазног, скривеног и излазног слоја. Први слој прикупља необрађене податке и преноси их до скривеног слоја. Скривени слој се сматра језгром који преноси добијене резултате на излазни слој. У RBF моделу постоји само један скривени слој, а његови неурони се ослањају на радијалне базне функције [5]. Излаз RBF мреже је одређен пондерисаним збиром одговора скривених неурона, који се може изразити као у једначини (2).

$$y_{\mathrm{j}} = \sum_{i=1}^{n} w_{ij_{\varphi i}} \left(\|x - c_i\|\right) + w_{oj}, j = 1,2, \dots n \tag{2}$$

Где је $n$ број чворова у скривеном слоју, $x$ излазни вектор, $c_i$ центар $i$-тог чвора у скривеном слоју, $w_{ij}$ тежина $i$-тог чвора у скривеном слоју, $\varphi_i$ радијална базна функција и $w_{oj}$ шум $i$-тог чвора излазног слоја. Такође, важно је истаћи да је број неурона у улазном и излазном слоју еквивалентан улазним и излазним варијаблама (атрибутима) скупа података.

С тим у вези, у овом раду је примењено надгледано (MLP) и ненадгледано (RBF) машинско учење на расположивом скупу података (узорак од 200 испитаника), са циљем да се добије предвиђање циљне (излазне) варијабле, тј. прихватљивости увођења наплате загушења у CZ Београда. Скупови података у оквиру MLP модела су насумично подељени у два подскупа, за тренирање (обуку) и тестирање. Скуп података намењен тренирању чинио је 70,9%, док је скуп намењен тестирању чинио преосталих 29,1% података. Употребом истог скупа података, извршено је и тренирање и тестирање RBF мреже, који су чинили 70,4% и 29,6% података респективно.

Приликом развоја модела, дефинисано је 15 атрибута, за које се сматра да су од значаја у погледу процене ставова испитаника приликом прихватања увођења наплате загушења у CZ. Сви атрибути, представљали су вештачке неуроне унутар улазног слоја оба модела вештачке неуронске мреже. Такође, излазни слој, који се односио на питање прихватљивости увођења наплате загушења, састојао се од два неурона, који су представљали одговоре „Да“ и „Не“, док су скривени слојеви утврђени процесом тренирања и тестирања модела.

## 3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

### 3.1. Логистичка регресија

У овом раду, свих 15 атрибута је анализирано помоћу мултиваријантне логистичке регресије, при чему се може уочити да само један атрибут који означава питање „Који вид кретања најчешће користите са сврхом одласка на посао?“ је у значајној корелацији са прихватљивошћу наплате загушења у CZ Београда са вредношћу од $P=0{,}04$ ($P<0{,}05$). Поред наведеног, поседовање путничког аутомобила такође представља утицајан фактор по питању прихватљивости наведене мере с обзиром да је његова вредности незнатно већа и износи $P=0{,}056$.

### 3.2. Модели вештачке неуонске мреже

За процес тренирања и једне и друге мреже, у софтверу IBM SPSS 22, подешено је максимално време од 15 минута, док је време намењено тестирању аутоматски утврђено софтвером. Архитектура MLP мреже са 6 неурона и RBF мреже са 10 неурона у скривеном слоју дале су најбоље резултате и накнадно су дефинисане. Такође, активационе функције MLP и RBF мреже у скривеном слоју су хиперболична тангетна и нормализована, а у излазном слоју нормализована експоненцијална и функција идентитета, респективно.

Након утврђивања основних карактеристика, мрежа је тренирана, а потом и тестирана, након чега су утврђене њене карактеристике које указују да MLP мрежа захтева мање време за тренирање у односу на RBF мрежу, али и да иста има већи проценат нетачно предвиђених вредности у оквиру тренирања, а мањи приликом тестирања у односу на RBF мрежу. Вредности функција грешке, указују да MLP мрежа и током тренирања и током тестирања има веће вредности грешке унакрсне ентропије, у односу на вредности грешке суме збира квадрата код RBF мреже, што указује да RBF модел има мања одступања предвиђених вредности у односу на стварне (Табела 1).

**Табела 1.** Анализа модела вештачких неуонских мрежа

| | | **Multilayer Perceptron** | **Radial Basis Function** |
|---|---|---|---|
| Тренирање | Грешка (Error) | 55,323[a] | 17,967[b] |
| | Нетачно предвиђање (%) | 18,4% | 17,1% |
| | Коришћење правила заустављања | 1 узастопни корак без смањења грешака | / |
| | Време тренирања | 0:00:00,6 | 0:00:00,22 |
| Тестирање | Грешка (Error) | 27,770[a] | 14,847[b] |
| | Нетачно предвиђање (%) | 24,1% | 35,6% |

[a] *Унакрсна ентропија*
[b] *Сума збира квадрата*

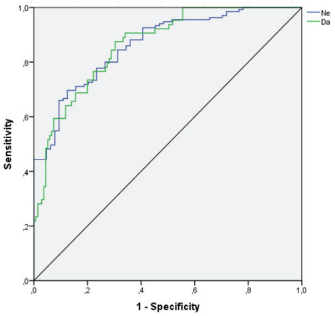
Поред наведеног, као још један вид анализе перформанси модела, врши се провера тачности класификације излазних вредности. Табела 2 указује у којој мери су примењени модели тачно класификовали одговоре „Да“ и „Не“, од стране испитаника, по питању прихватљивости увођења наплате загушења.

**Табела 2.** Анализа класификације излазних вредности

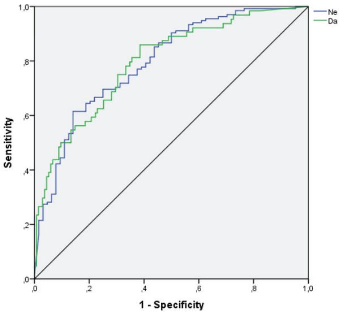
| | | **Предвиђање прихватљивости наплате загушења по цени од 150 дин** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Multilayer Perceptron | | | Radial Basis Function | | |
| Узорак | **Постојећи одговори** | Не | Да | Проценат тачности | Не | Да | Проценат тачности |
| Тренирање | Не | 85 | 5 | 94,4% | 92 | 8 | 92,0% |
| | Да | 21 | 30 | 58,8% | 16 | 24 | 60,0% |
| | Укупно (%) | 75,2% | 24,8% | 81,6% | 77,1% | 22,9% | 82,9% |
| Тестирање | Не | 36 | 9 | 80,0% | 30 | 5 | 85,7% |
| | Да | 5 | 8 | 61,5% | 16 | 8 | 33,3% |
| | Укупно (%) | 70,7% | 29,3% | 75,9% | 78,0% | 22,0% | 64,4% |

Модели MLP и RBF мреже у оквиру фазе тренирања дају скоро подједнако добре резултате по питању класификације одговора „Да“ и „Не“. Међутим, када су у питању резултати добијени након тестирања података, уочава се да модел MLP мреже има знатно бољи проценат тачности класификације. Посматрајући постојећи и предвиђени одговор „Да“, уочава се да су оба модела са подједнаком тачношћу предвидела да је 8 испитаника заиста дало одговор „Да“. Са друге стране, модел MLP мреже тачно је предвидео да 36 одговора „Да“, нису одговори „Не“, у односу на модел RBF мреже, који је таквих одговора предвидео 30. С тим у вези, може се закључити да модел MLP мреже даје боље резултате предвиђања одговора „Да“ и „Не“ по питању прихватљивости увођења наплате загушења.

На наредним сликама (Слика 1 – 2), приказана је ROC крива, која представља визуелни приказ осетљивости (y-оса) и специфичности (x-оса) за све могуће граничне вредности, на једном графикону. Осетљивост представља број позитивних случајева тачно класификованих, док специфичност представља број негативних, нетачно класификованих случајева, класификованих као позитивни случајеви. Вредност површине испод ROC криве износи 0,864 по питању класификације одговора од стране модела MLP мреже што указује да овај модел има одличну способност класификације, у поређењу са моделом RBF мреже, код којег вредност 0,795 указује да је његова способност класификације прихватљива.

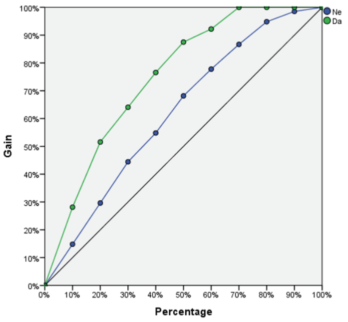


**Слика 1.** ROC крива MLP модела

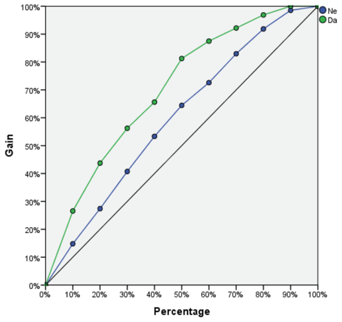


**Слика 2.** ROC крива RBF модела

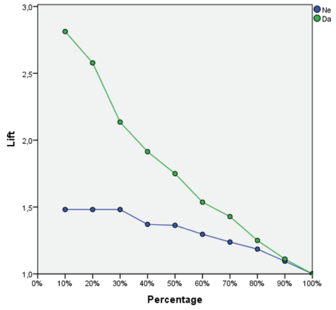
Поред наведеног, резултати модела који се тичу класификације одговора „Да“ и „Не“, могу се анализирати и кроз Gain и Lift криве. Криве добити (Gain криве) одговора (Слика 3 – 4) указују да MLP модел даје знатно боље резултате у односу на RBF модел, поготово у случају предвиђања одговора „Да“. Крива пораста (Lift крива) такође указује да модел MLP мреже даје боље резултате (Слике 5 – 6), с обзиром на то да се вредности класификације одговора у првобитној тачки налазе изнад 1, а затим спорије опадају ка вредности од 100% која представља укупан скуп података, нарочито у случају класификације одговора „Не“.



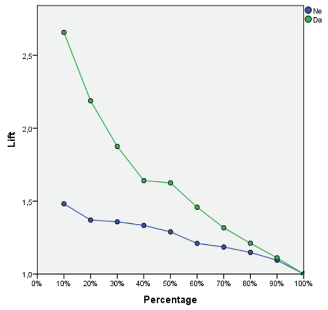
**Слика 3.** Gain крива MLP модела



**Слика 4.** Gain крива RBF модела

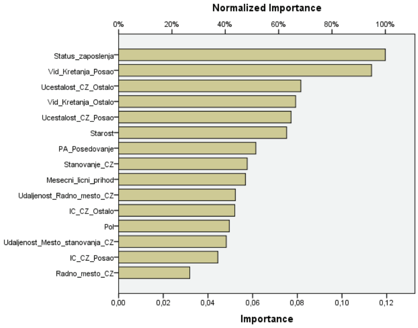


**Слика 5.** Lift крива MLP модела

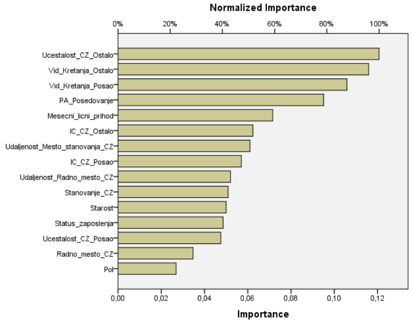


**Слика 6.** Lift крива RBF модела

Поред наведеног, током тренирања мреже, резултати MLP модела указују да статус запослења, најчешће коришћени вид превоза са сврхом одласка на посао и учесталост употребе CZ у остале сврхе кретања представљају веома важне факторе међу свим независним атрибутима за предвиђање прихватљивости CP, са нормализованим значајним вредностима од 100%, 94,8% и 68,3% респективно (Слика 7). Са друге стране, у случају RBF модела, веома важни фактори за прихватљивост CP су учесталост употребе CZ у остале сврхе, најчешћи вид кретања у остале сврхе, као и у сврхе одласка на посао/школу/факултет са нормализованим вредностима од 100%, 96% и 87,7% респективно (Слика 8).



**Слика 7.** Значај атрибута MLP модела



**Слика 8.** Значај атрибута RBF модела

## 4. ЗАКЉУЧАК

Наплата загушења, као мера управљања мобилношћу, неретко се користи као политика којом се утиче на смањење саобраћајног загушења у урбаним градским зонама. С тим у вези, све већа пажња се посвећује анализи утицајних фактора приликом креирања ове транспортне политике који би значајно утицали на њену прихватљивост.

У овом раду, развијена су два модела вештачких неуронских мрежа, у циљу предвиђања прихватљивости наплате загушења. Развијени модели вештачких неуронских мрежа су тренирани, а потом и тестирани на узорку од 200 испитаника, у циљу утврђивања што тачнијег предвиђања и класификације одговора. Добијени резултати указују да мрежа заснована на MLP моделу, има већу осетљивост, специфичност и тачност у предвиђању прихватљивости CP политике у односу на RBF модел.

У будућим истраживањима могуће је радити на побољшању развијених модела, повећањем/смањењем скривених слојева, подешавањем параметара тренирања мреже али и тестирања на већем узорку испитаника, како би се на прецизнији начин утврдили утицајни фактори и побољшала тачност предвиђања и класификације прихватљивости CP политике од стране посматраних модела.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Glavić, D., & Milenković, M. (2022). Komercijalna eksploatacija saobraćajne infrastrukture. Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet.

[2] Glavić, D., Milenković, M., Mladenović, M., Politis, I., & Komarica, J. (2023). What is the potential of hybrid cordon pricing policy for reducing and shifting car usage in cities?. Transportation Research Procedia, 69, 631-638.

[3] Milenković, M., Glavić, D., & Maričić, M. (2019). Determining factors affecting congestion pricing acceptability. Transport Policy, 82, 58-74.

[4] Araujo, P., Astray, G., Ferrerio-Lage, J. A., Mejuto, J. C., Rodriguez-Suarez, J. A., & Soto, B. (2011). Multilayer perceptron neural network for flow prediction. Journal of Environmental Monitoring, 13(1), 35–41. https://doi.org/10.1039/C0EM00478B

[5] Hossain, M. S., Ong, Z. C., Ismail, Z., & Khoo, S. Y. (2017). A comparative study of vibrational response based impact force localization and quantification using radial basis function network and multilayer perceptron. Expert Systems with Applications, 85, 87–98. https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2017.05.027

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# КЛАСИФИКАЦИЈА КАШЊЕЊА ЛЕТОВА НА АЕРОДРОМУ ЦИРИХ ПРИМЕНОМ АЛГОРИТМА СЛУЧАЈНИХ ШУМА

# CLASSIFICATION OF FLIGHT DELAYS AT ZURICH AIRPORT BASED ON THE RANDOM FOREST ALGORITHM

КАТАРИНА КУКИЋ, ДАНИЦА БАБИЋ, СЛАВИЦА ДОЖИЋ, МИЛИЦА КАЛИЋ

Универзитет у Београду Саобраћајни Факултет, Београд, k.kukic@sf.bg.ac.rs, d.babic@sf.bg.ac.rs , s.dozic@sf.bg.ac.rs , m.kalic@sf.bg.ac.rs

***Резиме:*** *У овом раду су истражени главни фактори који потенцијално могу узроковати кашњење летова на аеродрому Цирих и предложен је модел за предвиђање кашњења летова применом алгоритма случајних шума.*

***Кључне речи:*** *Ваздушни саобраћај, Кашњење лета, Алгоритам случајних шума.*

***Abstract:*** *In this paper, the main factors that can potentially cause flight delays at Zurich airport are investigated and a model for flight delay prediction based on the random forest algorithm is proposed.*

***Keywords:*** *Air transport, Flight delay, Random forest algorithm.*

## 1. УВОД

Убрзани развој ваздушног саобраћаја, који није испраћен адекватним проширењем инфраструктуре аеродрома, узроковао је повећан број летова који касне, као и дужину кашњења по лету, у свим деловима света. Процењено је да кашњење летова кошта авио-индустрију неколико десетина милијарди долара годишње [1]. Сваки лет који касни негативно утиче на оперативне резултате аеродрома и авио-компаније, али такође изазива и незадовољство код путника на које кашњење утиче. Осим великих трошкова, кашњење летова има врло негативан утицај и на животну средину у околини аеродрома, због повећане изложености буци и аеро-загађењу.

Кашњење је временски интервал који настаје када се планирани лет не обави у планирано време. Разлози зашто одређени лет касни су многобројни, као на пример: лоши временски услови на аеродрому или на рути, технички кварови на авиону, кашњење или недолазак посаде на лет, чекање трансферних путника са предходног лета, недовољно капацитета на аеродрому и у ваздушном простору, итд.

Кашњења летова и обављање операција на време били су предмет великог броја истраживања. Међу многим радовима, овде ће бити поменути само они најважнији и скоријег датума због ограничења простора. Највише пажње је посвећено радовима који се заснивају на анализи података ради предвиђања кашњења летова коришћењем претраге података (*data mining*), статистичке анализе и техника машинског учења. Модел заснован на алгоритму случајних шума за предвиђање кашњење лета у доласку узимајући у обзир информације о лету (полазни и одредишни аеродром, планирано време поласка и доласка) и временске услове на полазном и одредишном аеродрому према реду летења предложен је у [1]. У раду [2] је коришћен метод *deep belief network* како би се открили обрасци кашњења летова на међународном аеродрому у Пекингу. Нови фактори, као што су саобраћајна ситуација на ваздушном путу и степен гужве на аеродромима, су се показали као важни фактори утицаја на тачност предвиђања кашњења лета. Аутори у раду [3] су развили модел предвиђања кашњења лета како би предвидели кашњење лета у полетању са међународног аеродрома Њуарк Либерти користећи *CatBoost* алгоритам стабла одлучивања са градијентом. Оцена предложеног реда летења на аеродрому користећи модел предвиђања кашњења и отказивања лета заснованог на машинском учењу извршена је у [4]. Одступање времена полетања и брзине авиона од предвиђених вредности може довести до доласка авиона на одређене руте у непланирано време, а то даље може изазвати неочекиване захтеве на тим рутама. У раду [5] аутори су истражили шири опсег фактора који потенцијално могу утицати на кашњење лета и упоредили неколико модела заснованих на машинском учењу. Предложени модел заснован на алгоритму случајних шума је показао већу тачност предвиђања.

Модел предвиђања кашњења летова заснован на свеобухватним подацима прикупљеним у великим броју са међународног аеродрома у Цириху је развијен у овом раду. То је урађено коришћењем алата за машинско учење (алгоритам случајних шума). У самом истраживању фокус је на идентификацији главних уских грла у постојећем систему, а резултати модела би омогућили надлежним властима на аеродрому да прецизно објасне, предвиде и, евентуално, смање кашњења летова, без нужног улагања у додатну опрему и проширење капацитета аеродрома.

## 2. МЕТОДОЛОГИЈА И СКУП ПОДАТАКА

У овом раду бавимо се анализом резултата два класификациона модела надгледаног учења на скупу података о оствареном саобраћају на аеродрому у Цириху у току треће недеље јануара 2017. године. Модели предвиђају да ли је лет каснио или не (зависна променљива). Један модел разматра податке о доласцима (укупно 1994 долазна лета), а други о одлазним летовима из Цириха (2015 летова). Од свих реализованих летова, било је 903 долазна лета и 825 одлазних летова без кашњења, док су сви остали летови забележили одређено кашњење. У авио-индустрији лет се сматра обављеним на време када стигне у року од 15 минута од планираног времена доласка или полеће у року од 15 минута од планираног времена поласка. Међутим, из перспективе аеродрома, чак и ова кашњења до 15 минута су важна да би се благовремено ублажила пре него што прерасту у озбиљнија кашњења. На основу података прикупљених на аеродрому у Цириху може се закључити да је просечно кашњење лета у доласку било 11,1 минут, док је у одласку просечно кашњење лета било 11,8 минута у посматраној недељи у зимском реду летења 2017.

За сваки лет евидентирани су следећи подаци: информације о идентификацији лета; информације о лету (шифра превозника, кодови аеродрома поласка и одредишта); информације о времену (планирани и стварни полазак (или долазак) сат/минут, њихова разлика је кашњење поласка или доласка, са тачношћу од једног минута); агент за прихват и отпрему авиона и путника; позиција терминала и паркинга, итд. Најважнија сврха овог модела је да обезбеди тачна и прецизна предвиђања, а то у великој мери зависи од квалитета коришћених података. Као резултат њиховог различитог порекла, скупови података изведених из стварног света често имају податке који недостају, који су недоследни или поседују одређени шум. Подаци који поседују одређени шум су неупотребљиви за моделе засноване на машинском учењу јер могу дати погрешне резултате. Стога је неопходно третирати податке како би се повећао квалитет добијених скупова података. Након чишћења података, формирани су скупови података употребљиви за развијени модел.

У Табели 1 налазе се детаљи о подацима који се користе као променљиве у моделу. Из Табеле 1 може се видети да је међу долазним летовима било 54,7% кашњења, а међу одлазним 58,4% што су уједно и тачности основних модела које развијени модел треба да надмаши како би био процењен као добар.

**Табела 1:** Променљиве у моделу

| **Променљива** | **Ознака** | **Категорија променљиве (додељена нум. вредност)** | **Долазни летови – број појављивања** | **Одлазни летови – број појављивања** |
|---|---|---|---|---|
| Авио-компанија | AirlineLX_1 | Other **(0)**<br>LX (Swiss Airline) **(1)** | 888<br>1106 | 898<br>1117 |
| Број путника | PaxNoGrouped | Мање од 100 **(1)**<br>Од 100 до 200 **(2)**<br>200 или више **(3)** | 1131<br>714<br>149 | 1157<br>734<br>124 |
| Континент (бинарна променљива) | Europe_1<br>Asia&Africa_1<br>America_1 | Европа<br>Азија или Африка<br>Северна, Централна или Јужна Америка | 1703<br>181<br>110 | 1719<br>184<br>112 |
| Кашњење лета | Delayed_1 | На време **(0)**<br>Касни **(1)** | 903<br>1091 | 839<br>1176 |
| Број трансферних путника | PaxConnectingGrouped | Мање од 10 **(1)**<br>Од 10 до 30 **(2)**<br>31 или више **(3)** | 795<br>692<br>507 | 709<br>707<br>599 |
| Период дана | PeriodDayGrouped | Јутро: 5-12 **(1)**<br>Поподне:12-17 **(2)**<br>Вече: 17-22 **(3)** | 836<br>501<br>657 | 1003<br>573<br>439 |
| Шенген | Schengen_1 | Полазак у/Долазак из земље ван Шенгена **(0)**<br>Полазак у/Долазак из земље Шенгена **(1)** | 641<br>1353 | 647<br>1368 |
| Вршни сат | Peak_1 | Ван вршног сата **(0)**<br>Вршни сат **(1)** | 962<br>1032 | 1586<br>429 |
| Агент за прихват и опрему (бин. променљива) | SWP_1<br>DNA_1<br>AAS_1 | Swissport International<br>dnata Switzerland<br>Airline Assistance Switzerland | 1644<br>253<br>97 | 1661<br>256<br>98 |

Ток развоја модела прати уобичејен ток рада код надгледаног учења који укључује насумичну поделу података на тренинг и тест податке, обучавање модела на тренинг подацима, предвиђање на новим (тест) подацима, као и одређивање перформаси модела. Преприлагођавање (*overfitting*) модела је један од најчешћих проблема у машинском учењу и јавља се када модел даје тачна предвиђања на тренинг подацима, али не и на новим подацима. Ансамбл методе у машинском учењу развијене су са циљем побољшања пеформанси основних модела, као и смањења могућности преприлагођавања и у основи базирају се на комбиновању различитих метода или исте методе на различитим узорцима. Најчешћи приступи креирању ансамбла класификатора су принцип већинских гласова у коме се као ознака класе усваја она коју предвиђа већина, извлачење насумичних комбинација тренинг скупа података са понављањем (*bagging*), као и техника у којој модел учи из својих грешака (*boosting*). Једна од најчешће примењиваних ансамбл метода јесте ансамбл стабала одлучивања односно алгоритам случајних шума (*random forest* - RF), [6]. Идеја је применити алгоритам стабла одлучивања на различитим узорцима из истог скупа података и донети одлуку о предикцији на основу већине појединачних предвиђања чиме се постиже смањење корелације у грешкама предикција. Алгоритам случајних шума не обезбеђује лако интерпретабилне моделе као што је случај код стабла одлучивања, али зато омогућава поузданији резултат по питању важности атрибута који утичу на одлучивање у моделу. За детаље о начинима како се код стабла одлучивања врши раздвајање података и критеријумима који се за то користе (ентропија или *Gini index* - GI) упућујемо читаоца на [7, 8, 9]. У кратким цртама, кораци за примену RF су:

1. Одредити број стабала *n*, број атрибута за генерисање стабала *m* и број узорака за тренирање *N* (насумичне комбинација тренинг скупа података са понављањем).
2. Изградити стабло одлучивања користећи одабрани критеријум за раздвајање података у односу на одабрани број атрибута *m*. Понављати док се не изгради свих *n* стабала.
3. Одредити предикцију класе за модел као класу коју предвиђа већина изграђених стабала.

У овом раду за изградњу модела користили смо *Python* и *sklearn.ensemble* модул, а фино подешавање модела у виду избора оптималних параметара са циљем побољшања перформанси (конкретно тачности) модела урађено је помоћу *grid search* технике. Поменута техника претражује мрежу задатих вредности параметара и бира оптималне из посматраног скупа. Назначена мрежа за претраживање у овом раду укључује следеће вредности параметара: максималну дубину стабла (*max_depth*) од 3 до 7, минималан број инстанци у листу (*min_samples_leaf*) 3, 5, 10, 20, 50; број стабала одлучивања за изградњу случајне шуме (*n_estimators*) 10, 50, 75, 100, 150, 200 и критеријум за раздвајање података (ентропија или *Gini index*). За оба модела разматрана у овом раду као оптималан критеријум одабран је *Gini index* који представља вероватноћу да ће случајно одабран узорак у разматраном чвору бити погрешно класификован и израчунава се као у формули (1), где је $p_j$ вероватноћа класе $j$ у чвору, а $J$ број класа (у датом моделу је 2)

$$GI = 1 - \sum_j p_i^2. \tag{1}$$

За процену перформанси модела користићемо матрицу класификације (*confusion matrix*) која даје информацију о броју стварно и лажно позитивних (*true or false positive* – TP, FP), као и стварно и лажно негативних (*true or false negative* – TN, FN) и на основу њих одредити тачност модела која представља проценат успешно класификованих и израчунава се помоћу:

$$accuracy = (TP + TN)/(TP + FP + TN + FN). \tag{2}$$

Модели засновани на стаблу одлучивања, као што је метода случајних шума, пружају могућност одређивања значајности разматраних атрибута за одлучивање (*feature importance*) из којих, у нашем конкретном проблему, можемо боље разумети разлоге који најчешће утичу на кашњење летова.

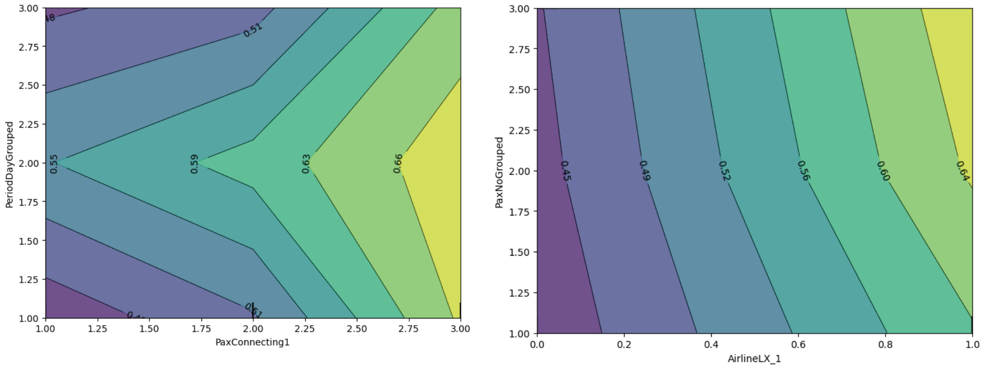
## 3. РЕЗУЛТАТИ

За обучавање модела користили смо 70% доступних података (1395 и 1410 инстанци), а осталих 30% за тестирање (599 и 615 инстанци респективно за доласке и одласке). У Табели 2 дати су детаљи о хиперпараметрима коришћеним у развијеним моделима, као и подаци о тачности модела случајних шума на скупу података за тренинг, као и за тестирање.

**Табела 2:** Детаљи модела и матрице класификације

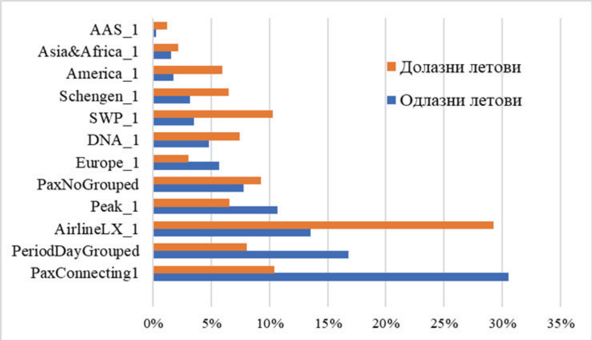
| | | Долазни летови: RF(max_depth=7, min_samples_leaf=10, n_estimators=100 ) | | | | Одлазни летови: RF(max_depth=7, min_samples_leaf=10, n_estimators=10 ) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Предвиђене вредности | | | | | | | |
| | | Подаци за тренинг | | Подаци за тестирање | | Подаци за тренинг | | Подаци за тестирање | |
| | | На време | Касни | На време | Касни | На време | Касни | На време | Касни |
| Стварне вредности | На време | 370 | 262 | 149 | 122 | 271 | 316 | 116 | 136 |
| | Касни | 190 | 573 | 96 | 232 | 154 | 669 | 75 | 278 |
| Тачност | | 67,6% | | 63,6% | | 66,7% | | 65,1% | |

Добијени резултати указују на сличне перформансе модела на подацима за тренинг и тест на основу чега можемо закључити да нема преприлагођавања развијених модела. Такође, поређењем са тачностима основних модела (54% и 58%) можемо рећи да развијени модели постижу задовољавајући ниво тачности у предвиђању. На Слици 1 приказано је како се мења вероватноћа да лет буде класификован као *Касни* (додељена нумеричка вредност 1) са променом селектованих атрибута. Видимо да модел за одлазне летове са највећом вероватноћом предвиђа да ће бити кашњења за летове са више од 30 трансферних путника који се обављају у току поподнева, између 12 и 17 часова, док је за вечерње летове са мање од 9 трансферних путника вероватноћа кашњења доста мања (око 50%). Слично, за долазне летове, модел предвиђа највероватније кашњење за летове које обавља LX авио-компанија (*Swiss Airline*) са већим бројем путника.



**Слика 1:** Промена перформанси модела за одлазне летове (лево) и долазне летове (десно)

Добијене значајности атрибута су приказане у процентима на Слици 2 и могу се сматрати добром полазном основом за анализу. Уочава се да је најзначајнији параметар за класификацију кашњења одлазних летова број трансферних путника са нешто преко 30% важности, а следе га период дана у коме се лет обавља (17%) и авио-компанија (13.5%). У случају долазних летова, најзначајнији параметар за класификацију је да ли лет обавља LX или не, са 29% важности, затим следе број трансферних путника и агент за прихват и опрему авиона и путника са преко 10%.



**Слика 2:** Значајности разматраних атрибута у моделима

Како бисмо остварили бољи увид у начин како најважнији атрибути утичу на кашњење, приказана су и одабрана укрштања у Табели 3. Сва приказана укрштања су статистички значајна на основу $\chi^2$ теста и може се закључити да је приметно више кашњења код долазних летова везано за LX авио-компанију, за летове са већим бројем трансферних путника, као и за летове чији је агент за прихват и опрему авиона *Swissport International.* По питању кашњења одлазних летова, примећује се да проценат кашњења расте са порастом броја трансферних путника, такође да је највећи проценат кашњења међу поподневним летовима и на летовима које обавља домаћа LX авио-компанија.

**Табела 3:** Табела контигенција кашњења са најзначајнијим атрибутима модела случајних шума

| | **Долазни летови** | | | | | | | **Одлазни летови** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Авио-комп.** | | **Број трансф.путн.** | | | **Агент SWP** | | **Број трансф.путн.** | | | **Период дана** | | | **Авио-комп.** | |
| | Остале | LX | 0-9 | 10-30 | 31+ | не | да | 0-9 | 10-30 | 31+ | 1 | 2 | 3 | Остале | LX |
| На време | 532 | 371 | 432 | 219 | 252 | 239 | 664 | 362 | 266 | 211 | 439 | 198 | 202 | 446 | 393 |
| Касни | 356 | 735 | 363 | 288 | 440 | 111 | 980 | 347 | 333 | 496 | 564 | 375 | 237 | 452 | 724 |

## 4. ЗАКЉУЧАК

Модел предвиђања представљен у овом раду омогућава боље разумевање интеракција кашњења лета и времена када се лет обавља, ко је додељени агент на платформи, колико је путника на лету итд. У пракси, добијени резултати могу се користити за доношење прецизнијих одлука у вези са спречавањем кашњења, као на пример, авио-компаније могу боље планирати своје редове летења, бирати оне агенте за опслугу на платформи који ће им обезбедити ову услугу на време итд. Даља истраживања на овом раду могла би да укључе неке друге променљиве у моделу, које би можда унапредиле перформансе модела.

## ЗАХВАЛНИЦА

Ово истраживање је подржало Министарство науке, технолошког развоја и иновација Републике Србије, у оквиру пројекта TP36033 и TP36002 (2011-2023).

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Belcastro, L., Marozzo, F., Talia, D., and Trunfio, P. (2016). Using scalable data mining for predicting flight delays. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.* (TIST), 8(1), 5.

[2] Yu, B.; Guo, Z.; Asian, S.; Wang, H.Z.; and Chen, G. (2019). Flight delay prediction for commercial air transport: A deep learning approach. *Transp. Res. Part E*, 125, 203–221.

[3] Zhang, B., and Ma, D. (2020). Flight Delay Prediciton at an Airport Using Maching Learning, 5th International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT), Nanchang, China, pp. 557-560.

[4] Lambelho, M., Mitici, M., Pickup, S. and Marsden, A. (2019). Assessing strategic flight schedules at an airport using machine learning-based flight delay and cancellation predictions. *Journal of Air Transport Management*, 82, 101737.

[5] Gui, G., Liu, F., Sun, J., Yang, J., Zhou, Z. and Zhao, D. (2020). Flight Delay Prediction Based on Aviation Big Data and Machine Learning. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(1), 140-150.

[6] Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning,* 45, 5–32.

[7] Liu, W. Z. and White, A. P. (1994). The importance of attribute selection measures in decision tree induction. *Machine Learning*, 15, 25–41.

[8] Mingers, J. (1989) An empirical comparison of selection measures for decision tree induction. *Machine Learning*, 3, 319–342.

[9] K. Kukić, S. Dožić, D. Babić, and M. Kalić. A decision tree model for airport access mode choice: Serbian air transport market. In Proceedings SYM-OP-IS 2022, 557-563.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ФАЗИ ЛОГИЧКИ МОДЕЛ ЗА ПРОЦЕНУ МОГУЋНОСТИ СЛЕТАЊА ВАЗДУХОПЛОВА У ЗАВИСНОСТИ ОД МЕТЕОРОЛОШКИХ УСЛОВА

# FUZZY LOGIC MODEL FOR EVALUATING THE POSSIBILITY OF AIRCRAFT LANDING DEPENDING ON METEOROLOGICAL CONDITIONS

МИЛИЦА РОВИНАЦ[1], ПРЕДРАГ ГРОЗДАНОВИЋ[1], МИЛИЦА ШЕЛМИЋ[1], ФЕЂА НЕТЈАСОВ[1]

[1] Универзитет у Београду- Саобраћајни факултет, Војводе Степе 305, milica.rovinac311@gmail.com, p.grozdanovic@sf.bg.ac.rs, m.selmic@sf.bg.ac.rs, f.netjasov@sf.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *У раду је развијен фази логички модел који процењује могућности безбедног слетања ваздухоплова у зависности од метеоролошких услова. Креирани модел је дефинисан са две улазне променљиве: брзина ветра и видљивост дуж полетно-слетне стазе и једном излазном: могућност безбедног слетања ваздухоплова. Систем је развијен на реалним подацима прикупљеним на аеродрому "Никола Тесла" у Београду, а за развој је коришћена Wang-Mendelova метода. Тестиран је на већем броју различитих вредности улазних променљивих, од којих су издвојена и у раду приказана два сценарија.*

***Кључне речи:*** *Фази логички систем, метеоролошки услови, аеродром, безбедност, слетање*

***Abstract:*** *Fuzzy logic system for evaluation of the possibility of aircraft safe landing depending on the meteorological conditions is developed in this paper. The created system is defined by two input variables: wind velocity and runway visual range and one output: possibility of aircraft landing. The model is created using the real data collected from the "Nikola Tesla" airport, Belgrade and Wang-Mendel method is used. Numerous values of input variables are used for testing, from which two scenarios are selected and presented in the paper.*

***Keywords:*** *Fuzzy logic system, meteorological conditions, airport, safety, landing*

---

## 1. УВОД

Када је у питању ваздушни саобраћај, његова безбедност се издваја као најважнији критеријум. Због тога експерти широм света раде на системским решењима за унапређење мера, било да се ради о технологији, регулативи или адекватној обуци учесника у ваздушном саобраћају [2].

Сваки сегмент лета, од стартовања мотора авиона, до њиховог гашења, захтева висок степен безбедности. Међутим, сматра се да је слетање ваздухоплова, као такво, најкомплекснији сегмент, јер на њега утиче и највише фактора. Који ће метеоролошки елементи и појаве имати највећи утицај на летење зависи од, на пример, врсте ваздухоплова, његове опремљености, аеродрома на који се слеће и др. Приликом слетања, пилоту информације даје контролор летења, чија је дужност, између осталог, да води слетање и даје неопходне информације, како би се слетање обавило безбедно. Информације које добија пилот од контроле летења односе се на временске услове, као што су јачина ветра и његов смер, видљивост, стање полетно-слетне стазе, итд.

У раду је развијен модел за процену могућности безбедног слетања ваздухоплова на полетно-слетну стазу применом *Wang-Mendelove* (*WM*) методе која представља један од начина решавања алгоритма апроксимативног резоновања. Заснива се на већ унапред познатим подацима, који су добијени мерењем, посматрањем, или статистичком анализом. Међутим, како ови подаци нису увек довољни за анализу свих могућих ситуација, потребно је узети у обзир и мишљења еxперата, односно укључити и лингвистичке информације. *WM* метод назива се и методом за генерисање фази правила на основу нумеричких података и лингвистичких информација.

Рад је организован на следећи начин. У другом поглављу дат је опис решаваног проблема и кратак преглед литературе. Фази логички систем за процену могућности безбедног слетања ваздухоплова на аеродром применом *WM* методе је представљен у трећем поглављу. У четвртом поглављу је извршено тестирање модела. Коначно, у последњем поглављу су дата закључна разматрања

## 2. ОПИС РАЗМАТРАНОГ ПРОБЛЕМА

Обављање операција ваздухоплова зависи од многих фактора, међу које спада и стање спољне средине кроз коју се они крећу. Поједине метеоролошке појаве, као што су ветар, видљивост, магла и киша знатно утичу на нормално одвијање ваздушног саобраћаја, а у неким случајевима могу га отежати или прекинути.

Посебно су дефинисани метеоролошки услови за слетање и полетање, јер се односе на изузетно важне делове лета. Они могу бити повољни, када је полетање и слетање могуће извести безбедно и, неповољни, када то није случај.

Сваки тип ваздухоплова има препоручени лимит када је бочни ветар у питању, који не сме да се прекорачи. На пример, уколико је неки аеродром захватила озбиљна олуја, сви летови могу бити отказани или преусмерени ка другом аеродрому. Обзиром на то да је ветар изузетно битан фактор који може утицати на слетање ваздухоплова на неки аеродром, узет је у разматрање приликом решавања датог проблема.

Видљивост дуж полетно-слетне стазе - RVR (Енг. *Runway visual range*) је критична компонента у одређивању ILS (Енг. *Instrument Landing System*) минимума за сваку категорију слетања. Опрема за RVR се налази поред полетно-слетне стазе која омогућава контролорима ваздушног саобраћаја мерење видљивости у кључним тачкама дуж полетно-слетне стазе (нпр. зона слетања). Добијени подаци користе се приликом доношења одлуке да ли је безбедно полетети или слетети у условима ограничене видљивости.

Циљ овог рада је развој модела који би представљао подршку пилотима у одлучивању да ли слтети или не, кроз процену могућности безбедног слетања ваздухоплова.

Највећи број радова у анализираној литератури бави се побољшањем безбедности ваздушног саобраћаја кроз креирање модела који ће олакшати, а самим тим и побољшати рад контролора летења, док се аутори ретко баве креирањем модела који ће омогућити самом пилоту лакше доношење коначне одлуке. Главни циљ аутора рада [1] је био да се повећа безбедност ваздушног саобраћаја креирањем фази логичког система за решавање проблема радног оптерећења контролора летења. Са друге стране у раду [6] креиран је фази логички модел који има за циљ да процени квалитет рада контроле летења. Систем развијен у овом раду представља алат за стратешко одлучивање о потреби за додатном обуком и унапређењем сектора за контролу летења, што би довело до повећања безбедности ваздушног саобраћаја. У раду [5] представљена су два фази модела, за контролу конфликата на рути ваздушног саобраћаја. Предложени приступ је у стању да унапред открије и отклони лонгитудиналне конфликте, представљајући потенцијалан систем за подршку у доношењу одлука намењених побољшању безбедности и оптималном коришћењу ваздушног простора. Циљ рада [3] је био да се проблем контроле саобраћаја реши коришћењем интелигентног система заснованог на наученим процедурама и процесима током одређеног временског периода. У ту сврху развијен је фази логички модел за систем контроле летења који је намењен побољшању перформанси контролора летења и смањењу стопе удеса авиона.

## 3. РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ПРОЦЕНУ МОГУЋНОСТИ БЕЗБЕДНОГ СЛЕТАЊА

Модел за процену могућности безбедног слетања ваздухоплова, ослања се на идеју да се база фази правила дефинише на основу доступних нумеричких података. Основна идеја иза *WM* методе је да се искористе расположиви подаци који обично нису довољни да се искључиво на основу њих генеришу фази правила, с обзиром да углавном "не покривају" све ситуације које могу да се јаве. У том случају неопходно је да експерти изврше допуну базе фази правила. Генерални кораци *WM* методе су [4]:

- Корак 1: Дефинисање домена улазних и излазне променљиве;
- Корак 2: Покривање домена одговарајућим фази скуповима;
- Корак 3: Генерисање фази правила на основу нумеричких података;
- Корак 4: Одређивање степена правила како би се елиминисала конфликтна и еквивалентна правила;
- Корак 5: Допуна базе правила од стране експерата, уколико има потребе.

За имплементацију *WM* методе неопходно је поседовати одговарајуће нумеричке податке о улазним и излазној променљивој (Табела 1). Сваки улазно-излазни пар података је дат у форми: $\{(x_1^{(1)}, x_2^{(1)}; y^{(1)}), (x_1^{(2)}, x_2^{(2)}; y^{(2)}), \ldots, (x_1^{(17)}, x_2^{(17)}; y^{(17)})\}$.

За креирање базе нумеричких података посматрано је слетање авиона типа AIRBUS A319 на аеродрому „Никола Тесла", Београд, у случају различитих метеоролошких услова. Приликом генерисања базе, на располагању су били подаци за 17 случајева слетања поменутог типа авиона који се могу видети у Табели 1. Нумерички подаци садржали су информације о брзини ветра, видљивости дуж полетно-слетне стазе и могућности безбедног слетања.

**Табела 1:** Доступне нумеричке вредности за улазне и излазну променљиву

| | $x_1^{(i)}$ *(kt)* | $x_2^{(i)}$ *(m)* | $y^{(i)}$ (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 1000 | 100 |
| 2 | 5 | 600 | 70 |
| 3 | 25 | 200 | 30 |
| 4 | 0 | 100 | 10 |
| 5 | 40 | 600 | 50 |
| 6 | 30 | 100 | 0 |
| 7 | 13 | 300 | 50 |
| 8 | 25 | 800 | 60 |
| 9 | 5 | 700 | 80 |
| 10 | 25 | 50 | 10 |
| 11 | 15 | 400 | 60 |
| 12 | 30 | 800 | 60 |
| 13 | 0 | 50 | 10 |
| 14 | 15 | 800 | 80 |
| 15 | 5 | 300 | 50 |
| 16 | 10 | 600 | 80 |
| 17 | 0 | 250 | 50 |

У првом кораку *WM* методе се на основу Табеле 1 одређују домени улазних и излазне променљиве који се затим покривају одговарајућим фази скуповима. Предпоставимо да су домени улазних променљивих $x_1^{(i)}$ и $x_2^{(i)}$ представљени као $[x_1-, x_1+]$, $[x_2-, x_2+]$ и излазне $y$ као $[y-, y+]$. Сваки овај домен се дели на $2N+1$ региона ($N$ може варирати од променљиве до променљиве) и сваком региону се додељује функција припадности фази скупу.

Улазна променљива брзина ветра ($x_1^{(i)}$) налази се у домену [0, 40] и изражена је у чворовима [*kt*]. Ова улазна променљива је дефинисана помоћу три фази скупа од чега су два представљена трапезоидном функцијом припадности, а један троугластом функцијом. Фази скупови су дефинисани на следећим интервалима: Мала брзина ветра [0; 0; 5; 15]; Средња брзина ветра [10; 15; 20]; Велика брзина ветра [15; 25, 40; 40].

Друга улазна променљива - видљивост дуж полетно-слетне стазе ($x_2^{(i)}$) дефинсана је на домену [0,1000] и представљена је у метрима [m]. Фази скупови су дефинисани на следећим интервалима: Мала видљивост [0; 0; 200; 400]; Средња видљивост [200; 400; 600]; Велика видљивост [400; 700; 1000; 1000].

Излазна променљива - могућност безбедног слетања на полетно-слетну стазу ($y^{(i)}$), дефинсана је на домену [0,100] и изражена у процентима [%]. Излазна променљива је описана на исти начин као и претходне две улазне променљиве. Фази скупови су дефинисани на следећим интервалима: Мала могућност безбедног слетања [0; 0; 40; 55]; Средња могућност безбедног слетања [40; 55; 70];Велика могућност безбедног слетања [55; 70; 100; 100].

Након креирања излазне и улазних променљивих извршено је дефнисање базе фази правила (АКО $x_1$ је A и $x_2$ је B, ТАДА $y$ је C), а на основу нумеричких вредности.

**Табела 2:** Дефинисање базе фази правила на основу нумеричких вредности

| | $x_1(i)$ | $x_2(i)$ | $y(i)$ | | ***Правила*** | $x_1(i)$ | $x_2(i)$ | $y(i)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 1000 | 100 | → | Правило 1 | мала | велика | велика |
| 2 | 5 | 600 | 70 | → | Правило 2 | мала | велика | велика |
| 3 | 25 | 200 | 30 | → | Правило 3 | велика | мала | мала |
| 4 | 0 | 100 | 10 | → | Правило 4 | мала | мала | мала |
| 5 | 40 | 600 | 50 | → | Правило 5 | велика | велика | средња |
| 6 | 30 | 100 | 0 | → | Правило 6 | велика | мала | мала |
| 7 | 13 | 300 | 50 | → | Правило 7 | средња | средња | средња |
| 8 | 25 | 800 | 60 | → | Правило 8 | велика | велика | средња |
| 9 | 5 | 700 | 80 | → | Правило 9 | мала | велика | велика |
| 10 | 25 | 50 | 10 | → | Правило 10 | велика | мала | мала |
| 11 | 15 | 400 | 60 | → | Правило 11 | средња | средња | средња |
| 12 | 30 | 800 | 60 | → | Правило 12 | велика | велика | средња |
| 13 | 0 | 50 | 10 | → | Правило 13 | мала | мала | мала |
| 14 | 15 | 800 | 80 | → | Правило 14 | средња | велика | велика |
| 15 | 5 | 300 | 50 | → | Правило 15 | мала | средња | средња |
| 16 | 10 | 600 | 80 | → | Правило 16 | мала | велика | велика |
| 17 | 0 | 250 | 50 | → | Правило 17 | мала | мала | средња |

Након што су дефинисана сва правила на основу доступних података (Табела 2) проверава се постојање еквивалентних и конфликтних правила. Еквивалентна правила представљају правила која су иста, док конфликтна правила подразумевају она код којих су исте улазне променљиве, а различита излазна.

На основу правила из Табеле 2 може се видети да је правило 1 еквивалентно са правилима 2, 9 и 16. У том случају потребно је било које од ових правила усвојити, а остале одбацити, јер дефинишу једно те исто. Усвојено је правило 1, а правила 2, 9 и 16 се одбацују. Правила 3, 6 и 10 су еквивалнтна и у том случају усвојено је само правило 3. Такође, правила 5, 8 и 12 су еквивалентна, па је од ова три правила задржано само правило 5. Даље, еквивалентност се појавила код правила 4 и 13, 7 и 15. По истом принципу су задржана само правила 4 и 7.

Код конфликтних правила потребно је извршити проверу које правило треба усвојити, а које одбацити. Провера се врши тако што се за свако конфликтно правило израчуна степен правила:

$$D(\text{Правила}) = \mu_A(x_1^{(i)})\ \mu_B(x_2^{(i)})\ \mu_C(y^{(i)}) \qquad (1)$$

Из Табеле 2 се може видети да је правило 4 конфликтно са правилом 17. У том случају било је потребно израчунати степен ова два правила, што је и урађено на следећи начин:

- D (Правило 4) = $\mu_{мала}$ (0) $\mu_{мала}$ (100) $\mu_{мала}$ (10) = 1*1*1 = 1
- D (Правило 17) = $\mu_{мала}$ (0) $\mu_{мала}$ (250) $\mu_{средња}$ (50) = 1*0,75*0,67 = 0,502

Поређењем ових степена правила, може се уочити да је степен код правила 4 већи него степен правила 17. Из тог разлога усваја се правило 4, док се правило 17 одбацује.

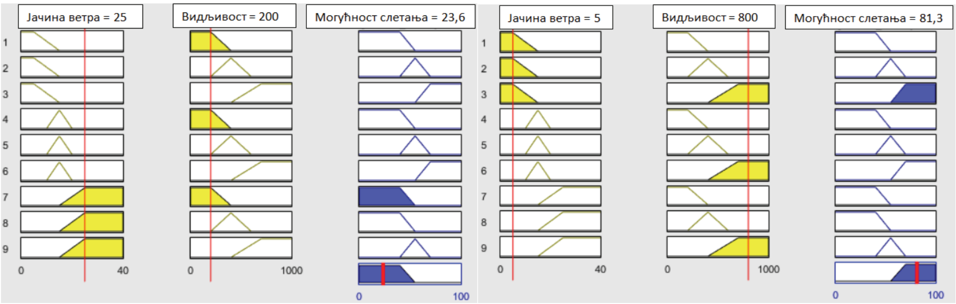
Након филтрирања правила, у погледу одбацивања еквивалнтих правила и избора једног од конфликтних правила, у Табели 3 је приказано 7 преосталих правила. С обзиром да тих 7 правила не обухвата све могуће ситуације у погледу брзине ветра и видљивости, правила у коначној бази (Табела 3) су допуњена експертским мишљењем и та правила су приказана болд фонтом. Свакако, пожељно је да експерт провери валидност и осталих правила из ове базе дефинисане на основу нумеричких података.

**Табела 3:** Коначна база фази правила

| | | $x_2(i)$ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | мала | средња | велика |
| $x_1(i)$ | мала | мала | средња | велика |
| | средња | **мала** | средња | велика |
| | велика | мала | **мала** | средња |

## 4. ТЕСТИРАЊЕ РАЗВИЈЕНОГ МОДЕЛА

Модел је тестиран на великом броју различитх ситуација у погледу јачине ветра и видљивости дуж полетно-слетне стазе. Решења у свакој од тестираних ситуација су показала да са великом прецизношћу одражавају реалну ситуацију. Због ограниченог простора, у наставку ће бити приказани резултати модела у два гранична сценарија. У свим тестираним примерима дефазификована вредност је добијена применом методе центра гравитације.



**Слика 1**: а) Резултати тестирања фази модела у случају мале, и б) велике могућности слетања

На Слици 1а приказан је пример добијања мале могућности за безбедно слетање (23,6%) у ситуацији када су присутни лоши метео услови, односно ветар износи 25kt, а видљивост је свега 200m. Са слике 1б може се видети пример када је могућност безбедног слетања ваздухоплова велика (81,3%). Велика могућност слетања добијена је временским условима без ветра (5kt) и при веома доброј видљивости (800m). У овом примеру сасвим је сигурно да ће пилот донети одлуку да изврши слетање на полетно-слетну стазу.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Проценти инцидената и несрећа услед временских услова из године у годину се смањују, међутим, утицај метеорологије на ваздухопловне активности је и даље веома висок. Нагле промене смера и брзине ветра, постојање смицања ветра, ситуације слабе видљивости и други неповољни временски услови су фактори које треба узети у обзир, нарочито приликом полетања и слетања ваздухоплова. Због тога је поседовање информација од суштинског значаја за планирање и безбедност ваздухоплових операција, како на аеродромима тако и на ваздушним рутама.

У раду је приказана примена WM на процењивање могућности безбедног слетања ваздухоплова у зависности од брзине ветра и видљивости дуж полетно-слетне стазе.

Фактор који такође има утицаја у слетању, а није описан у овом раду јесте искуство пилота. Познато је да коначну одлуку о слетању доноси само и искључиво пилот, а то се може разликовати од пилота до пилота, сходно томе да немају сви подједнако искуство иза себе. Због тога се у будућности може размишљати о проширењу креираног модела кроз додавање нове улазне променљиве: „искуство пилота“. Међутим, оно што ни искусан пилот не сме покушати јесте слетање при условима који су испод дефинисаног аеродромског минимума, односно ограничења за слетање.

## ЗАХВАЛНИЦА

Рад је делимично подржан од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије TR36002 и ТР36033.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Babić, O. i Krstić, T. (2000). Airspace daily operational sectorization by fuzzy logic. *Fuzzy Sets Syst.*, 116, 49–64.

[2] Čokorilo, O. (2020). Bezbednost vazduhoplova (II dopunjeno izdanje), Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, Srbija.

[3] Idika, N. i Baridam, B. (2018). An Intelligent Air Traffic Control System using Fuzzy Logic Model. *Int. J. Appl. Inf. Syst.*, 12, 11.

[4] Teodorović, D., Šelmić, M. (2012). Računarska inteligencija u saobraćaju, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, Srbija.

[5] Volpe Lovato, A., Hora Fontes, C., Embiruçu, M. i Kalid, R. (2018). A fuzzy modeling approach to optimize control and decision making in conflict management in air traffic control. *Comput. Ind. Eng.*, 115, 167–189.

[6] Xin, H., Yaqing, C., Haoran, G. i Zhijian, L. (2010). An evaluation model for air traffic controllers based on fuzzy conversion. *2010 IEEE International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering*, Hangzhou, China, 543–547.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ДОДЕЉИВАЊЕ ЗАДАТАКА ДРОНОВИМА ПРИМЕНОМ ХЕУРИСТИЧКИХ АЛГОРИТАМА

# ASSIGNMENT OF TASKS TO DRONES BY HEURISTIC ALGORITHMS

МИЛОШ НИКОЛИЋ[1], ФЕЂА НЕТЈАСОВ [1]

[1] Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, Београд, m.nikolic@sf.bg.ac.rs,
f.netjasov@sf.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *У раду је разматран проблем додељивања задатака дроновима. При додељивању најважнији циљ је да се минимизира разлика између стварног и жељеног почетка реализације задатака. Поред тога, потребно је тежити минимизацији растојања које ће прелазити дронови при реализацијама задатака. За решавање овог проблема разматрано је пет хеуристичких алгоритама. Алгоритми су тестирани на хипотетичким примерима. Добијени резултати указују да се решења добијају брзо али да квалитет решења код неких примера може много да одступа од оптималних вредности.*

***Кључне речи:*** *Распоређивање задатака, дронови, хеуристички алгоритми.*

***Abstract:*** *The paper discusses the problem of assigning tasks to drones. When assigning, the most important goal is to minimize the difference between the actual and the desired start of the implementation of the tasks. In addition, it is necessary to strive for the minimization of the distances that the drones will cover during the realization of tasks. To solve this problem, five heuristic algorithms were considered. Algorithms are tested on hypothetical examples. The obtained results indicate that the solutions are obtained very quickly, but that the quality of the solutions in some examples may deviate a lot from the optimal values.*

***Keywords:*** *Assignment of tasks, drones, heuristic algorithms.*

---

## 1. УВОД

Током протеклих десет година дошло је до значајног унапређења у развоју дронова. То је допринело њиховој све већој употреби у многим областима. Поред веома значајне примене у војне сврхе, дронови се све више користе и у цивилним областима, мањајући старе обрасце обављања одређених послова. Тако на пример, обављање неких задатака доставе робе у градским срединама може бити много ефикасније употребом дронова него коришћењем возила [1]. Главни разлог овога је у томе што је путања којом се креће дрон често значајно краћа од путање возила, али још важнији разлог је у томе што дронови немају проблеме губитака времена услед саобраћајних гужви и чекања на светлосним сигналима.

У областима где је неопходно да се одређене пошиљке брзо доставе, при чему се захтеви могу јавити на различитим локацијама, постоји потреба да се располаже и већим бројем дронова како би се реализација захтева обавила што је могуће ефикасније. У тим условима када постоји већи број задатака који се јавља, а постоји и већи број дронова који се користе, поставља се питање који план реализације захтева је најбољи. За решавање тог проблема у овом раду је анализирана могућност употребе више хеуристичких алгоритама.

Преостали део рада организован је на следећи начин: у другом делу рада дат је опис проблема, у трећем су описани предложени хеуристички алгоритми, резултати тестирања су приказани у четвртом делу, и у последњем делу су дата закључна разматрања и правци даљих истраживања.

## 2. ОПИС ПРОБЛЕМА

У оквиру овог истраживања разматран је проблем описан у раду [2]. У оквиру овог проблема потребно је $m$ дронова да реализује $n$ задатака (уз претпоставку да су дронови истог типа). Сваки задатак треба да буде реализован од стране само једног дрона. Током посматраног временског периода дронови могу да реализују више задатака, при чему у сваком тренутку дрон може да буде у процесу реализације максимално једног задатка. При одређивању плана додељивања задатака дроновима потребно је тежити минимизацији кашњења почетка реализације задатака у односу на жељена времена, као и минимизацији времена летења дронова.

За овај проблем у раду [2] је дата математичка формулација. У математичкој фомулацији проблема коришћена је следећа нотација [2]:

$t_{ij}$ – време летења дрона од чвора дестинације задатка $i$ до почетног чвора задатка $j$,

$tl_i$ – време утовара робе у дрон у задатку $i$,

$ts_i$ – време опслуживања задатка $i$ (време потребно дрону да од почетног дође до одредишног чвора задатка $i$),

$tu_i$ – време истовара робе из дрона када је дошао у одредишни чвор задатка $i$,

$r_j$ – жељено време почетка опслуге задатка $j$,

$M$ – велики позитиван број,

$w_j$ – коефицијент значајности задатка $j$.

Променљиве које се користе су:

$x_{ijk}$ – бинарна променљива која узима вредност 1 ако дрон $k$ након задатка $i$ реализује задатак $j$, у супротном је једнака 0,

$s_{jk}$ – време када дрон $k$ почиње реализацију задатка $j$,

$y_{jk}$ – променљива која представља кашњење почетка реализације задатка $j$ дроном $k$.

Математичка формулација гласи [2]:

Минимизирати

$$F_1 = \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} w_j\, y_{jk} \tag{1}$$

Минимизирати

$$F_2 = \sum_{i=0}^{n}\sum_{\substack{j=0\\ i\neq j}}^{n}\sum_{k=1}^{m} t_{ij}\, x_{ijk} \tag{2}$$

при ограничењима

$$\sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{n}\sum_{k=1}^{m} x_{ijk} = 1 \qquad \forall\, j = 1,\cdots,n \tag{3}$$

$$\sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{n} x_{ijk} - \sum_{\substack{i=0\\ i\neq j}}^{n} x_{jik} = 0 \qquad \forall\, j = 1,\cdots,n;\ k = 1,\cdots,m \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{0jk} \leq 1 \qquad \forall\, k = 1,\cdots,m \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{i0k} \leq 1 \qquad \forall k = 1,\cdots,m \tag{6}$$

$$s_{ik} + tl_i + ts_i + tu_i + t_{ij} - M\cdot\left(1 - x_{ijk}\right) \leqslant s_{jk} \quad \forall\, i = 1,\cdots,n;\ j = 1,\cdots,n;\ i \neq j;\ k = 1,\cdots,m \tag{7}$$

$$s_{jk} - y_{jk} = r_j \qquad \forall j = 1,\cdots,n;\ k = 1,\cdots,m \tag{8}$$

$$x_{ijk} = \{0,1\} \quad \forall i = 1,\cdots,n;\ j = 1,\cdots,n;\ i \neq j;\ k = 1,\cdots,m \tag{9}$$

$$s_{jk} \geq 0 \qquad \forall\, j = 1,\cdots,n;\ k = 1,\cdots,m \tag{10}$$

$$y_{jk} \geq 0 \qquad \forall\, j = 1,\cdots,n;\ k = 1,\cdots,m \tag{11}$$

Функција циља (1) представља укупно кашњење у реализацији задатака, а функцијом циља (2) се израчунава укупно време лета свих дронова. Обе функције циља треба да се минимизирају.

Ограничење (3) гарантује да ће сви задаци бити реализовани. Ограничење (4) омогућава да дрон након завршетка једног задатка пређе на реализацију другог, или да се врати у депо. Ограничење (5) дефинише да дрон из депоа може да оде на реализацију само једаног задатка. На сличан начин ограничење (6) гарантује да се дрон мора вратити у депо након завршетка последњег додељеног задатка. Време када ће дрон $k$ почети са опслугом задатка $j$ рачуна се на основу ограничења (7). Кашњења у релизацији задатака израчунавају се на основу ограничења (8). Ограничењима (9), (10) и (11) дефинишу се променљиве.

На основу математичке формулације (1)-(11) могуће је за конкретан пример формирати двокритеријумски задатак мешовитог целобројног програмирања. Његовим решавањем применом неког од метода вишекритеријумске оптимизације било би могуће доћи до решења проблема. Међутим, пошто разматрани проблем припада групи сложених проблема комбинаторне оптимизације, решавање примера великих димензија (са много задатака и дронова) вероватно би захтевало веома дуго време рада рачунара. Због тога описани начин решавања не би био погодан за практичну употребу. Због тога су у даљем делу овог рада разматрани хеуристички алгоритми чијим применама би се веома брзо дошло до решења.

## 3. ХЕУРИСТИЧКИ АЛГОРИТМИ ЗА РЕШАВАЊЕ ПРОБЛЕМА ДОДЕЉИВАЊА ЗАДАТАКА ДРОНОВИМА

За решавање проблема додељивања задатака дроновима коришћено је пет хеуристичких алгоритама. Први хеуристички алгоритам има следеће кораке:

- КОРАК 1: Сортирати све задатке у опадајућем поретку према њиховим жељеним временима када би опслуга требала да почне.
- КОРАК 2: Из сортиране листе узети први задатак који треба да се распореди.
- КОРАК 3: Размортити додељивање задатка сваком од дронова. Ако би задатак био додељен неком дрону он би га реализовао тек након што реализује све задатке који су му пре тога били додељени. Имајући то у виду потребно је одредити када би сваки од дронова могао да започне опслугу задатка и које би време морали да лете како би реализовали задатке. Задатак доделити оном дрону код кога би кашњење у почетку реализације било најмање. Односно ако два или више задатака имају исто најмање кашњење задатак доделити оном дрону који би мање времена морао да лети како би реализовао задатак.
- КОРАК 4: Задатак који је последњи распоређен избрисати из сортиране листе.
- КОРАК 5: Уколико је сортирана листа празна завршити са алгоритмом, а у супротном прећи на корак 2.

Други хеуристички алгоритам се разликује од првог само у трећем ограничењу. Његов трећи корак би могао да се прикаже на следећи начин:

- КОРАК 3: Размортити додељивање задатка сваком од дронова. При разматрању додељивања задатка дрону узети у обзир да тај задатак може бити реализован и пре неких задатака који су већ додељени дрону. Задатак доделити оном дрону код кога би се укупно време кашњења у реазализацији њему додељених задатака најмање повећало. Односно, ако најмање повећање кашњења имају два или више дронова, тада задатак доделити оном дрону коме би се укупно време лета најмање повећало (при одређивању укупног времна лета узети у обзир да дрон креће из депоа и да се након реализације задатака који су му додељени враћа у депо).

Трећи хеуристички алгоритам се разликује од другог само у томе што се у првом кораку задаци сортирају према значају, а уколико два задатка имају исти значај онда се поредак прави преме захтеваном времену почетка опслуге (на начин да се прво разматра опслуга задатка који треба пре да се опслужи).

Четврти хеуристички алгоритам се састоји из следећих корака:

- КОРАК 1: За сваки од задатака који још није распоређен одредити укупна потенцијална кашњења и растојања летења ако би се он доделио сваком од дронова. При разматрању додељивања задатка дрону узети у обзир да он може бити опслужен и пре неких других задатака који су том дрону већ додељени.
- КОРАК 2: Нека за најбоље распоређивање задатка *i* дрону *j* укупно кашњење износи $D_{ij}$, а време летења $T_{ij}$. За сваки задатак одредити ком дрону би било најбоље да буде додељен, односно одредити дрон код кога ће кашњење бити $\min_j\{D_{ij}\}$, а ако више дронова има минималну вредност онда одабрати онај који има мање укупно потребно време лета.
- КОРАК 3: Од свих задатака за распоређивање одабрати онај који има најмање време одређено у кораку 2, а ако има више таквих задатака онда одабрати онај са мањим потребним временом летења.
- КОРАК 4: Задатак одабран у претходном кораку доделити на реализацију дрону који је за њега одређен у кораку 2.
- КОРАК 5: Уколико су сви задаци распоређени дроновима завршити са алгоритмом, а у супротном вратити се на корак 1.

Пети хеуристички алгоритам се разликује од четвртог само у кораку 3. Његов корак 3 би могао да се прикаже на следећи начин:

- КОРАК 3: Од свих задатака за распоређивање одабрати онај који има највеће укупно време одређено у кораку 2, а ако има више таквих задатака онда одабрати онај са мањим потребним укупним временом летења.

## 4. РЕЗУЛТАТИ ТЕСТИРАЊА ХЕУРИСТИЧКИХ АЛГОРИТАМА

Тестирање предложених хеуристичких алгоритама је извршено на примеру датом у раду [2]. У овом примеру постоји 5 станица у којима могу да се јаве захтеви које је потребно обавити. Укупан број задатака који је разматран је 10. У зависности од брзине кретања дронова и карактеристика захтева укупно је разматрано 8 сценарија. Подаци о укупним временима летења дронова између станица у прва четири сценарија дати су у табели 1, а у преостала 4 сценарија у табели 2. Ова времена обухватају време подизања на висину од 100 метара, време летења до дестинације и време спуштања дрона.

**Табела 1.** Укупна времена путовања (мин) између станица у сценаријима од 1 до 4 [2]

| | **депо** | **станица 1** | **станица 2** | **станица 3** | **станица 4** | **станица 5** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **депо** | 0 | 0 | 4.54 | 2.67 | 5.29 | 8.41 |
| **станица 1** | 0 | 0 | 4.54 | 2.67 | 5.29 | 8.41 |
| **станица 2** | 4.54 | 4.54 | 0 | 2.25 | 6.11 | 12.15 |
| **станица 3** | 2.67 | 2.67 | 2.25 | 0 | 5.66 | 10.28 |
| **станица 4** | 5.29 | 5.29 | 6.11 | 5.66 | 0 | 12.47 |
| **станица 5** | 8.41 | 8.41 | 12.15 | 10.28 | 12.47 | 0 |

**Табела 2.** Укупна времена путовања (мин) између станица у сценаријима од 5 до 8 [2]

| | **депо** | **станица 1** | **станица 2** | **станица 3** | **станица 4** | **станица 5** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **депо** | 0 | 0 | 7.68 | 4.56 | 8.93 | 14.13 |
| **станица 1** | 0 | 0 | 7.68 | 4.56 | 8.93 | 14.13 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **станица 2** | 7.68 | 7.68 | 0 | 3.87 | 10.29 | 20.35 |
| **станица 3** | 4.56 | 4.56 | 3.87 | 0 | 9.54 | 17.24 |
| **станица 4** | 8.93 | 8.93 | 10.29 | 9.54 | 0 | 20.90 |
| **станица 5** | 14.13 | 14.13 | 20.35 | 17.24 | 20.90 | 0 |

Карактеристике задатака дате су у табели 3. У сценаријима 1, 3, 5 и 7 подразумева се да су сви задаци подједнако важни, док у преосталим задацима значај задатака није исти и он је назначен у последњој колони табеле.

**Табела 3.** Карактеристике задатака [2]

| **Задатак** | **Почетни чвор** | **Крајњи чвор** | **Време утовара [min]** | **Време истовара [min]** | **Жељени почетак опслуге [min]** | **Значаји у сценаријима** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | **1, 3, 5 и 7** | **2, 4, 6 и 8** |
| 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1 |
| 2 | 3 | 5 | 1 | 1 | 10 | 1 | 1.25 |
| 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | 15 | 1 | 1.5 |
| 4 | 2 | 4 | 1 | 1 | 20 | 1 | 1.75 |
| 5 | 5 | 1 | 1 | 1 | 20 | 1 | 2 |
| 6 | 4 | 2 | 1 | 1 | 25 | 1 | 2.25 |
| 7 | 1 | 5 | 1 | 1 | 25 | 1 | 2.5 |
| 8 | 2 | 3 | 1 | 1 | 25 | 1 | 2.75 |
| 9 | 3 | 1 | 1 | 1 | 30 | 1 | 3 |
| 10 | 3 | 4 | 1 | 1 | 30 | 1 | 3.25 |

Приказани алгоритми су програмирани у програмском језику Java у едитору Apache NetBeans IDE. Тестирања алгоритама су извршена на рачунару следећих карактеристика: AMD Ryzen 7 3800 X with 32 GB of RAM memory, operating system: Kubuntu 23.04. Време извршавања алгоритама за сваки од сценарија је било приближно једнако нула секунди.

Добијени резултати приказани су у табелама 4 и 5. У табели 4 су приказане и вредности критеријумских функција које су добијене применом лексикографске оптимизације и CPLEX софтвера у раду [2] у сврху поређења са резултатима хеуристичких алгоритама. Поред тога у овој табели су приказани и резултати прва два хеуристичка алгоритма. У табели 5 су приказани резултати добијени применом преостала 3 хеуристичка алгоритма.

Поредећи квалитете решења у маниру лексикографске оптимизације може се уочити да ниједан алгоритам није увек пронашао решења која су по квалитету једнака решењима CPLEX-а.

Поредећи међусобно резултате може се уочити да је трећи хеуристички алгоритам највећи број пута био најуспешнији (подебљане вредности критеријумских функција у табели 5). Нешто лошији резултат је имао други хеуристички алгоритам (у табели 4). Преостала три алгоритма су дала значајно лошије резултате.

**Табела 4.** Резултати добијени хеуристичким алгоритмима 1 и 2

| **Сценарио** | **CPLEX** | | **Хеуристички алгоритам 1** | | **Хеуристички алгоритам 2** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $F_1$ | $F_2$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_1$ | $F_2$ |
| 1 | 20.42 | 31.12 | 32.77 | 73.4 | **20.42** | **72.98** |
| 2 | 53.15 | 31.12 | 93.345 | 73.4 | **53.15** | **72.98** |
| 3 | 5.39 | 30.74 | 14.08 | 97.38 | 12.56 | 99.63 |
| 4 | 11.56 | 30.74 | 40.81 | 97.38 | 32.49 | 94.29 |
| 5 | 64.51 | 44.29 | 82.58 | 123.88 | **64.51** | **122.5** |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 147.22 | 51.91 | 230.23 | 123.88 | **173.16** | **122.5** |
| 7 | 17.4 | 51.91 | 40.91 | 156.48 | **34.54** | **142.38** |
| 8 | 37.49 | 51.91 | 119.565 | 156.48 | 88.95 | 148.10 |

**Табела 5.** Резултати добијени хеуристичким алгоритмима 3, 4 и 5

| **Сценарио** | **Хеуристички алгоритам 3** | | **Хеуристички алгоритам 4** | | **Хеуристички алгоритам 5** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $F_1$ | $F_2$ | $F_1$ | $F_2$ | $F_1$ | $F_2$ |
| 1 | **20.42** | **72.98** | 55.03 | 91.25 | 36.28 | 72.56 |
| 2 | 56.19 | 72.56 | 118.19 | 104.14 | 85.89 | 72.6 |
| 3 | **12.56** | **99.63** | 12.23 | 94.29 | 9.97 | 77.89 |
| 4 | **11.56** | **72.60** | 32.49 | 94.29 | 23.78 | 77.89 |
| 5 | **64.51** | **122.5** | 89.57 | 128.89 | 95.25 | 143.1 |
| 6 | 209.48 | 131.62 | 321.45 | 155.32 | 187.51 | 123.19 |
| 7 | **34.54** | **142.38** | **34.54** | **142.38** | 36.35 | 155.26 |
| 8 | **70.31** | **136.57** | 89.44 | 146.25 | **70.31** | **136.57** |

## 5. ЗАКЉУЧАК

Употреба дронова има све већу примену како у војне тако и у цивилне сврхе. У овом раду је предложено пет хеуристичких алгоритама за додељивање задатака дроновима. Тестирање алгоритама је извршено на примеру из литературе. На основу десет тестираних сценарија може се закључити да алгоритми веома брзо долазе до решења, при чему се два алгоритма значајно издвајају по квалитету својих генерисаних решења. Без обзира на то и даље постоји значајан простор за даља унапређења у циљу добијања бољих решења. То управо и представља главни правац будућих истраживања.

**Захвалница:** Рад је делимично подржан од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Goyal, R., Reiche, C., Fernando, C., Serrao, J., Kimmel, S., Cohen, A. and Shaheen, S. (2018). Urban Air Mobility (UAM) Market Study. Publication HQ-E-DAA-TN65181.

[2] Николић, М., Нетјасов, Ф., Црногорац, Д., Миленковић, М. и Главић, Д. (2023). Urban Air Mobility: Multi-objective Mixed Integer Programming Model for solving the Drone Scheduling Problem, The 2023 International Conference on Computational Science and Its Applications (рад је прихваћен за презентовање).

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРОЦЕНА ЕМИСИЈА ШТЕТНИХ ГАСОВА ОД ОПЕРАЦИЈА ВАЗДУХОПЛОВА НА АЕРОДРОМУ БАРСЕЛОНА

# ESTIMATION OF AIRCRAFT POLLUTANT EMISSIONS AT BARCELONA AIRPORT

НИКОЛА ЛУКАЧЕВИЋ, СЛАВИЦА ДОЖИЋ, БОЈАНА МИРКОВИЋ

Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет
nikola.lukacevic@sf.bg.ac.rs, s.dozic@sf.bg.ac.rs, b.mirkovic@sf.bg.ac.rs

***Резиме:*** *У овом раду је приказан прорачун емисија гасова од операција ваздухоплова на Аеродрому Барселона у 2015, 2017 и 2019. години. На бази анализе еколошких накнада на аеродомима у Европи прорачунати су потенцијални приходи аердорома за различите јединичне емисионе накнаде, за саобраћај у 2019. години. Приказане су накнаде за најзаступљеније типове ваздухоплова, као и годишњи трошкови за емисионе накнаде две најзаступљеније авио-компаније. Емисионе накнаде представљају основ за даље побољшање квалитета ваздуха у околини аеродрома.*

***Кључнеречи:*** *Аеродром Барселона, гасови стаклене баште, LTO циклус, емисионе накнаде*

***Abstract:*** *In this paper, GHG emissions from aircraft operations at Airport Barcelona are assessed for years 2015, 2017 and 2019. Based on the emission charges introduced by European airports, possible airport revenues are calculated for different unit charges and 2019 traffic volume. The emission charges for the most common aircraft types, as well as annual costs for emission charges of the two airlines with greatest share in annual traffic are discussed. Emission charges represent the bases for further improvement of air quality near the airports.*

***Keywords:*** *Barcelona Airport, GHG, LTO cycle, emission charges*

## 1. УВОД

Глобално посматрано авио-загађење утиче на климатске промене. Приликом сагоревања горива ослобађају се гасови стаклене баште (GHG *greenhouse gases*) и честице који имају огроман утицај на ефекат стаклене баште и глобално загревање, као што су угљен-диоксид ($CO_2$), водена пара ($H_2O$), азотни-оксиди ($NO_x$), угљен-моноксид (CO), угљоводоници (HC), аеросоли – оксиди сумпора ($SO_x$), чађи, итд. Ваздухопловна индустрија је у сталном порасту, те се самим тим повећава и проблем њеног штетног утицаја на животну средину и стога је неопходно озбиљно се бавити проблемом екологије, глобално и локално.

Локално посматрано, за процену квалитета тј.степена загађења ваздуха, посматрају се емисије штетних гасова које настају током циклуса слетања и полетања – LTO (*landing and take-off*) циклус. Загађења која се јављају не потичу само од ваздухоплова, већ и од саобраћаја у околини аеродрома, опреме за прихват и отпрему ваздухоплова и од осталих извора неопходних за функционисање аеродрома.

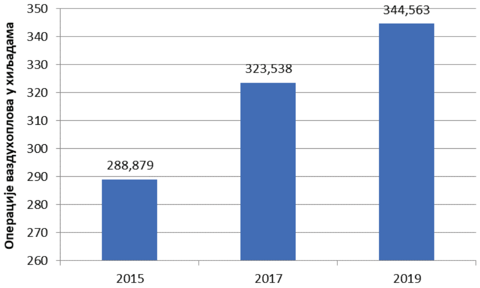
Штетан утицај на локални квалитет ваздуха односи се претежно на здравље људи. У циљу превазилажења негативних утицаја ваздушног саобраћаја спроводе се разне иницијативе за смањење утицаја ваздушног саобраћаја: алтернативна горива, развој батерија, нови прототипи ваздухоплова, економске мере итд. Једна од економских мера је увођење накнада за емисију гасова на аеродромима. Накнаде за емисију гасова су уведене на свега 28 аеродрома, у пет европских земаља [1].

У овом раду процењена је укупна емисија штетних гасова и потрошња горива ваздухоплова који лете на Аеродрому Барселона за 2015, 2017. и 2019. годину. Испитан је потенцијални приход аеродрома за различите износе накнада за емисију гасова, које су претпостављене на бази накнада које се примењују на аеродромима у Европи. Ове накнаде, са једне стране, могу да мотивишу авио-компаније да користе новије и „зеленије” ваздухоплове. Анализа промене структуре флоте у периоду 2015-2019. показује тренд авио-компанија ка увођењу еколошки ефикаснијих ваздухоплова. Средства прикупљена од наканада за емисије гасова, са друге стране, аерором може да користиту сврхе ублажавања негативних ефеката емисија на животну средину (нпр. куповина возила на електрични погон и инфраструктуре за њихову експлоатацију).

## 2. ПРИПРЕМА И АНАЛИЗА ПОДАТАКА

Подаци који су потребни да би се прорачунала потрошња горива и емисија гасова су: број операција ваздухоплова, тип ваздухоплова, број и тип мотора, време које ваздухоплов проведе у посматраној фази лета, индекси потрошње горива и емисија гасова за сваки ваздухоплов.

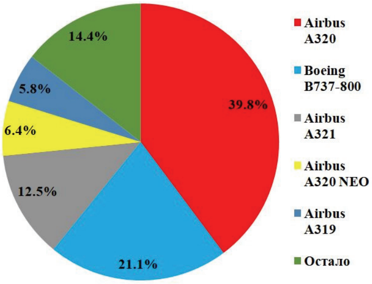
За анлизу је узет период пре почетка пандемије COVD-19 вируса, када је ваздушни саобраћај био на свом врхунцу (у 2022. години саобраћај је достигао ниво из 2015. године [2]). Подаци о броју летова по типу ваздухоплова за 2015, 2017. и 2019. годину за Аеродром Барселона, преузети су са AENA сајта [2]. Годишњи број операција је приказан на слици 1. У 2019. години број операција је био за 20% већи у односу на 2015. годину.



**Слика 1.** *Број операција ваздухоплова на Аеродрому Барселона у 2015, 2017 и 2019. години*

У овом раду анализирано је 70 типова ваздухоплова који обављају 99% укупног годишњег саобраћаја. Примећује се да 10 најзаступљенијих ваздухоплова обавља преко 90% годишњих операција на аеродрому. Тако нпр. у 2019. години Airbus A320 је имао удео од 39,8% у укупним операцијама ваздухоплова, Boeing 737-800 21,1%, Airbus A321 12,5%, док су остали типови авиона заступљени са мање од 10% (слика 2).

За разлику од претходних година, у 2019. години на Аеродрому Барселона се појављују ваздухоплови A320NEO (6,37% укупног броја операција), A321NEO (0,4%) и B737 MAX 8 (0,05%), табела 1. Истовремено, долази до смањења броја операција A319 и A321, који су замењени управо поменутим ваздухопловима - A320NEO и A321NEO. Такође, дошло је до повећања броја операција A350-900 и његовог директног конкурента B787-9. Ово показује да су авио-компаније започеле процес промене своје флоте, тако што постојећу мењају новијим ваздухопловима који су еколошки прихватљивији и са мањим емисионим индексима од својих претходника. Ваздухоплови из NEO фамилије имају до 15% мању потрошњу горива, него њихови претходници [3].



**Слика 2:** *Учешће најзаступљенијих типова ваздухоплова у укупном саобраћају у 2019.години*

Подаци о типу и броју мотора ваздухоплова преузети су из AEM базе (*Advanced Emission Model* [4]) која користи податке из ICAO (*International Civil Aviation Organization*) базе емисија (ICAO *Aircraft Engine Emissions Databank* [5]) за млазне моторе, а FOCA базу (*Swiss Federal Office of Civil Aviation* [6]) за клипне моторе. Из исте базе преузети су и индекси потрошње горива и емисије гасова за све типове ваздухоплова.

**Табела 1:** *Укупан број операција на Аеродрому Барселона (2015-2019) према типу ваздухоплова*

| | 2019 | 2017 | 2015 |
|---|---|---|---|
| **Airbus A320** | 136446 | 132954 | 131709 |
| **Boeing 737-800** | 72253 | 71930 | 53743 |
| **Airbus A321** | 43025 | 46606 | 24582 |
| **Airbus A320 NEO** | **21846** | **0** | **0** |
| **Airbus A319** | 19807 | 22985 | 29411 |
| **Airbus A330-200** | 5173 | 3501 | 4678 |
| **Boeing B767-300** | 3272 | 3560 | 2762 |
| **Airbus A350-900** | **3024** | **492** | **10** |
| **Boeing B787-900** | **2868** | **222** | **0** |
| **Boeing B737-700** | 2442 | 2404 | 3206 |
| **Airbus A321 NEO** | **1371** | **0** | **0** |
| **Boeing B737 MAX 8** | **180** | **4** | **0** |

У овом раду годишња емисије штетних гасова рачуната је за стандардни ICAO LTO циклус. Фазе стандардног ICAO LTO циклуса су: полетање (0,7 мин), пењање (2,2 мин), прилаз и слетање (4 мин), таксирање у одласку (19 мин) и таксирање у доласку (7 мин) [7].

Загађивачи који су узети у обзир су $CO_2$, $H_2O$, $SO_x$, HC, CO i $NO_x$. Емисија $CO_2$, $H_2O$ i $SO_x$ зависи само од потрошеног горива, тако да је индекс емисије (количина емитованог загађивача по килограму сагорелог горива) исти за све фазе лета (Табела 2). Потрошња горива и индекси емисија HC, CO i $NO_x$ се разликују и зависе од фазе лета, односно режима рада мотора. Према [4], режими рада мотора сурежим полетања (100% потиска), режим пењања (85% потиска), режим слетања (30% потиска) и *idle* режим за таксирање (7% потиска).

**Табела 2:***Индекси емисије $CO_2$, $H_2O$ и $SO_x$*

| **Загађивач** | **$CO_2$** | **$H_2O$** | **$SO_x$** |
|---|---|---|---|
| **Индекс емисије (g/kg)** | 3149 | 1230 | 0,84 |

## 3. ПРОЦЕНА УКУПНЕ ПОТРОШЊЕ ГОРИВА И ЕМИСИЈЕ ГАСОВА

Укупно потрошено горивотоком посматраних фаза лета *j* на лету *i* израчунава се помоћу релације (1):

$$TF_i = N_i \cdot \sum_j (FF_{ij} \cdot t_{ij}) \qquad (1)$$

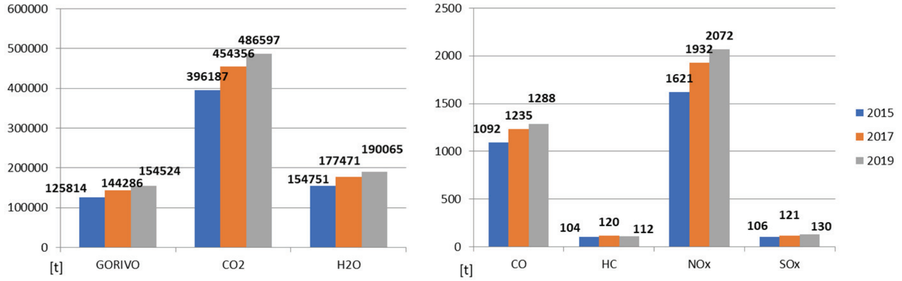
$TF_i$ – укупно потрошено гориво налету $i$ током свих који обавља посматрани лет $i$,
$FF_{ij}$ – потрошња горива (по мотору) током фазе лета $j$ на лету $i$ (kg/s),
$t_{ij}$ – време које ваздухоплов на лету $i$ проведе у фази лета $j$ (s).

На сличан начин добија сеи емисија гаса $k$ на лету $i$ (2).

$$E_{ik} = N_i \cdot \sum_j \left( EI_{ijk} \cdot FF_{ij} \cdot t_{ij} \right) \qquad (2)$$

$E_{ik}$ – емисија гаса $k$ на лету $i$ током свих посматраних фаза лета (g),
$EI_{ijk}$ – индекс емисије гаса $k$ током фазе $j$ лета $i$ (g/kg).

Укупна потрошња горива ваздухоплова и количине емитованих штетених гасова на Аеродрому Барселона за 2015, 2017. и 2019. годину, приказани су на слици 3.



**Слика 3:** *Укупна потрошња горива и емисије загађивача на Аеродрому Барселона (2015-2019)*

Примећује се констатан пораст емисија $CO_2$, $H_20$, CO, $NO_X$, $SO_X$ на Аеродрому Барселона, што је директна последица повећања саобраћаја на аеродрому. За разлику од претходно наведених загађивача, укупне емисије HC су нешто смањене у 2019. години. Узрок смањења емисија HC је мања заступљеност ваздухоплова A319 и A321, чији су емисиони индекси HC највећи. Такође, један од разлога је коришћење ваздухоплова A320NEO и A321NEO, који су значајно мањи загађивачи. Овај пример на добар начин показује, како промена структуре флоте може да утиче на смањење емисија штетних гасова.

## 4. НАКНАДЕ ЗА ЕМИСИЈЕ ШТЕТНИХ ГАСОВА

У циљу превазилажења негативних утицаја вазушног саобраћаја на животну средину, предузима се низ различитих технолошких, оперативних и економских мера. Као што је поменуто, једна од економских мера је увођење накнада за буку и емисије на аеродромима. Према ICAO ова накнада треба да је дефинисана и примењена тако да одржи постојеће или спречи даље загађење ваздуха у околини аеродрома, проузроковано директним утицајем ваздушног саобраћаја [1].

Накнаде су по правилу непрофитабилне за аеродроме и средства добијена од њих се улажу у даља побољшања у овој области (технолошки проналасци, оперативне процедуре итд.). Накнаде треба да подстакну авио-компаније да користе еколошки ефикасније моторе [8].

Пет европских земаља (Немачка, Швајцарска, Шведска, Велика Британија и Данска) је увело накнаде за емисије гасова на аеродромима. У 2015. години емисионе накнаде су се примељивале на 28 европских аеродрома [9], а у 2022. је тај број порастао на 43 [10]. Најзаступљеније су накнаде за $NO_x$ (76,7%), док се накнаде за $CO_2$ примењују на 11,6%

аеродрома [10]. Један од модела за рачунање накнада за емисије је „Нови швајцарски модел“ [11] заснован на препорукама ECAC-а (*European Civil Aviation Conference*). Овај модел има за циљ да накнаде буду неутралне тј. да аеродроми не зарађују и базира се на принципу да „сваки загађивач плаћа“.

С обзиром да за Аеродром Барселона нису доступне информације о локалном загађењу, односно квалитету ваздуха, разматран је хипотетички пример увођења накнада за емисије на овом аеродрому. За различите величине јединичних накнада, коришћењем новог швајцарског модела [11], размотрени су потенцијални приходи аеродрома на бази саобраћаја за 2019. годину, слика 4.

Слика 4: *Потеницијални приходи Аеродрома Барселоназа различите висине јединичних накнада*

Приход аеродрома, само од накнада за емисије, у случају увођења јединичне накнаде од 2,5\$ (што приближно одговара накнадама на швајцарским аеродромима) био би приближно 5,2 милиона долара. У случају јединичних накнадаод 12,5\$ (као што је нпр. на Аеродрому *Heatrow*), приход аеродрома би износио око 26 милиона долара.

Накнада за емисију гасова (табела 3) за авион средње величине (нпр. B737-800) на аеродрому Барселона износила би од 20 долара, па до нешто изнад 100 долара, док би за већи широкотрупни ваздухоплов (нпр. A340-600) износ ове накнаде био у опсегу 140-720 долара.

**Табела 3**:*Емисионе накнаде за различите ваздухоплове*

| | **2,5\$/kg $\mathrm{NO}_x$** | **5\$/kg $\mathrm{NO}_x$** | **7,5\$/kg $\mathrm{NO}_x$** | **10\$/kg $\mathrm{NO}_x$** | **12,5\$/kg $\mathrm{NO}_x$** |
|---|---|---|---|---|---|
| **A320** | 26,91 | 53,82 | 80,73 | 107,64 | 134,55 |
| **B738** | 22,79 | 45,59 | 68,39 | 91,19 | 113,99 |
| **A321** | 41,79 | 83,59 | 125,39 | 167,19 | 208,99 |
| **A20N** | 14,26 | 28,51 | 42,77 | 57,03 | 71,29 |
| **A319** | 18,65 | 37,31 | 55,97 | 74,63 | 93,29 |
| **A332** | 69,68 | 139,36 | 209,0 | 278,72 | 348,40 |
| **B763** | 62,09 | 124,19 | 186,29 | 248,39 | 310,49 |
| **A359** | 99,53 | 199,06 | 298,59 | 398,12 | 497,65 |
| **B789** | 95,29 | 190,58 | 285,87 | 381,16 | 476,45 |
| **B737** | 25,74 | 51,48 | 77,23 | 102,97 | 128,71 |
| **A346** | 144,43 | 288,87 | 433,31 | 577,75 | 722,19 |

Трошкови за емисионе накнаде за две најзаступљеније авио-компаније на Аеродрому Барселона у 2019. години су *Vueling* (са 39%) и *Ryanair* (са 13,4%), дате су у табели 4. Увођење накнада би додатно мотивисало авио-компаније да користе еколошки прихватљивије ваздухоплове. У табели 3 се може видети да су трошкови за ваздухоплов A320NEO приближно двоструко нижи од трошкова за A320. *Vueling* је током 2018. и 2019. године своју флоту модернизовао са 22 „зеленија“ ваздухоплова A320NEO.

**Табела 4:** *Трошкови за емисионе накнадеу 2019. за две најзаступљеније авиокомпаније*

| | 2,5$/kg NO$_x$ | 5$/kg NO$_x$ | 7.5$/kg NO$_x$ | 10$/kg NO$_x$ | 12.5$/kg NO$_x$ |
|---|---|---|---|---|---|
| **Vueling** | 1783999,2 | 3567998,3 | 5351997,5 | 7135996,6 | 8919995,8 |
| **Ryanair** | 525636,8 | 1051273,5 | 1576910,3 | 2102547,0 | 2628183,8 |

На квалитет ваздуха у околини аеродрома не утичу само емисије ваздухоплова, већ и саобраћај у околини аеродрома, возила на аеродрому, опрема за прихвати отпрему ваздухоплова итд. Приходе од накнада за емисије Аеродром Барселона би могао да користи за улагање у модернизацију опреме на аеродрому, са циљем смањења емисија загађивача који не потичу директно од ваздухоплова.

## 5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду извршена је процена потрошње горива и емисија штетних гасова на Аеродрому Барселона за 2015, 2017 и 2019. годину. На бази саобраћаја из 2019. године прорачунати су могући приходи Аедорома Барселона од накнада за емисије гасова. Јединичне накнаде су претпостављене на бази оних које се примењују на другим европским аеродромима. Показано је да наплата емисија утиче на смањење укупних емисија на два начина, кроз мотивисање најзаступљенијих авио-компанија да користе „зеленије“ ваздухоплове, као и кроз усмеравање прихода од еколошких накнада на модернизацију опреме.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Крстић С. Т., Јовановић Р., Стојиљковић Б. (2019). Аеродромске накнаде за емисију гасова – економске мере ка одрживом развоју аеродрома. *Техника* 74 (1), 113-120.

[2] AENA, Статистика ваздушног саобраћаја, https://www.aena.es/es/estadisticas/inicio.html, (посећен: 30.07.2022.)

[3] Airbus Aircraft, A320Neo, https://aircraft.airbus.com/en/aircraft/a320/a320neo-creating-higher-customer-value (посећен: 06.10.2022.)

[4] Eurocontrol (2019). AEM - Advanced Emission Model User Guide AEM-KERNEL, version 2.5.5

[5] International Civil Aviation Organization, ICAO (2020). Aircraft Engine Emissions Databank, https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/icao-aircraft-engine-emissionsdatabank.

[6] Swiss Federal Office of Civil Aviation, FOCA (2019). Aircraft Engine Emissions.

[7] European Environmental Agency, EEA (2019). EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019

[8] International Civil Aviation Organization, ICAO (2007). Doc 9884 - Guidance on Aircraft Emissions Charges Related to Local Air Quality.

[9] Yunos, S.N.M.M, Ghafir M., Wahab A.A. (2017). Aircraft LTO emissions regulations and implementations at European airports. 7th International Conference on Mechanical and Manufacturing Engineering, 1-3 August 2016, Jogjakarta, Indonesia. AIP Conference Proceedings 1831, 020006.

[10] How many airports have emissions-based charges? (2022), https://rdcaviation.com/news/q-how-many-airports-have-emissions-based-charges/ (посећен 28.5.2023).

[11] Zurich Airport (2010). Aircraft Emission Charges Zurich Airport.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV) PATH PLANNING TECHNIQUES AND CONSTRAINTS IN URBAN AIRSPACE INTEGRATION: LITERATURE REVIEW

UNA STANKOVIĆ[1] EMIR GANIĆ[2] TATJANA DAVIDOVIĆ[1] DRAGAN UROŠEVIĆ[1]

[1] Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, una@mi.sanu.ac.rs, tanjad@mi.sanu.ac.rs, draganu@mi.sanu.ac.rs
[2] University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, e.ganic@sf.bg.ac.rs

***Abstract:*** *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), commonly known as drones, have revolutionized numerous industries by offering unprecedented capabilities and possibilities. However, the widespread adoption of UAVs presents significant challenges related to safety, airspace management, and regulatory compliance. In this review paper, we emphasize the importance of UAVs and how the implementation of an efficient path-planning system will ensure safe and effective UAV operations. We provide an overview of the most recent methodologies found in the literature. Firstly, we present the wide range of applications that UAVs have found in various industries. Secondly, we highlight the most critical challenges that we must overcome to enable the seamless integration of UAVs into the airspace. Finally, we provide an overview of the most recent methodologies and approaches to tackle path planning. This analysis highlights the diversity of algorithms used for UAV path planning and provides insights into their strengths and limitations. Our main goal is to become acquainted with the problem variants, applied methodologies, and the state-of-the-art challenges in this field and to identify the possible points of improvements and potential contributions*

***Keywords:*** *Drones, Delivery, Surveillance, Optimization problems, Metaheuristics.*

## 1. INTRODUCTION

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), also known as drones, are autonomous aircrafts capable of completing missions without direct human intervention. They vary in size and capacity, ranging from small and lightweight to larger models capable of carrying heavy loads. UAVs can be classified into fixed-wing and rotary-wing types, with rotary-wing UAVs offering Vertical take-off and landing (VTOL) capabilities. UAVs offer high maneuverability and can be equipped with various sensors and actuators, expanding their applications in areas such as surveillance, data collection, navigation, healthcare, disaster response, delivery, agriculture, and more. VTOL properties found in some UAVs are especially useful for operations in densely populated areas. With the increasing number of registered UAVs, the development of scalable Unmanned Aircraft Traffic Management (UTM) systems becomes crucial. Planning the appropriate paths plays a vital role in UTM systems as it ensures risk avoidance and prevents mid-air collisions. Urban environments pose additional challenges due to obstacles, flight safety concerns, and privacy considerations. Path planning approaches can be categorized as offline or online, with offline planning occurring before takeoff and online planning adjusting the path during flight based on real-time data and obstacles. The most appropriate path is usually determined by balancing the objective function and meeting multiple constraints. Additional sources of information, such as risk maps indicating the risk level at different locations, can significantly improve path planning.

This paper provides an overview of challenges when integrating UAVs into urban airspace, path planning methodologies review from the most recent literature and constraints to be considered when it comes to UAVs path planning.

## 2. CHALLENGES

UAVs, operating either individually or in swarms, face challenges in achieving complete autonomous flying, particularly in path planning and obstacle avoidance, where navigating routes and avoiding collisions present significant difficulties. Path planning involves optimizing the flight trajectory while considering factors such as obstacles, path length, fuel or energy consumption, arrival time, flight risk, and mission planning. Paths can be in 2D or 3D environments, with 3D posing greater computational complexity. Scientists have proposed various algorithms to create autonomous trajectory planning methods with the goal of finding the most suitable path that meets multiple constraints and maximizes the objective function value [8, 12]. UAVs face the following challenges when it comes to path planning:

- **Computational complexity** - Long computations can result in delayed actions and the inability to react in unexpected situations. Combination with offline computational methods can be used to avoid this kind of problem.
- **Limited amount of energy** - UAVs spend significant energy on the flight itself and data storage, even more when additional weight is added to the UAV [6].
- **Obstacles** - In mid-air, UAVs have to manage different types of obstacles and other air-flying objects which can increase the risk of mission failure. Obstacles can come from different sources and can be either static or dynamic. Static obstacles can be trees, buildings, and other ground objects, while dynamic obstacles include birds, other flying objects, people, vehicles, etc. [5].
- **Population risk** - The increase in UAV operations in urban places and at low altitudes increases the risk of drone accidents affecting humans and/or vehicles on the ground [5].
- **Fly and no-fly zones** - These include forbidding or allowing flights over certain areas. UAVs may intrude on these or airport airspaces [14].
- **Safety** - Two priority safety concerns are related to mid-air collisions and loss of control over UAVs [1].
- **UAV communication channels** – The communication between UAV and remote monitoring/control system is mostly transmitted through the existing terrestrial wireless networks, cellular or Wi-Fi. UAV periodically transmits its coordinates and other relevant flight data [2]. Any interruptions to these communication channels may cause problems.
- **Meteorological conditions** – Meteorological conditions, such as wind or rain, can seriously impact flying UAVs in various aspects from performance to actual realization of mission. The actual route can significantly deviate from the initially planned [6].
- **Security and privacy issues** - UAVs are prone to malicious attacks due to their sensitive data collection. Drones equipped with cameras pose a significant privacy risk, since they can do unauthorized tracking or recording.

## 3. CURRENT PATH PLANNING ALGORITHMS

Majority of researchers try to find the best ways to create a path using different constraints, analyzing risks, and trying to improve the UAVs' path planning algorithms in their domain. The selection of papers here represents an introduction to path planning for UAVs and shows different approaches and usage of various algorithms to tackle the problem in both 2D and 3D environments. The authors of [5, 7, 9, 13] observed a 2D environment, while the authors of [3, 4, 8, 10, 12] focused their work on the 3D environment, whereas the authors of [11] tried both.

An overview of the considered path planning approaches, constraints, and environments is presented in Table 1.

**Table 1:** Path planning approaches overview

| Paper | Environment | Approach used | Live | Constraints |
|---|---|---|---|---|
| [2] | 2D | ILP | Offline | Destination; Capacity of wireless networks; |
| [3] | 3D | ACO | Online | Flight path length; Movement; Overlapping area of the current path with paths of other UAVs; |
| [4] | 3D | Theta * | Offline | Waypoints<br>No-fly zone; |
| [5] | 2D | Dijkstra; Modified A*; Modified ACO | Offline | Risk level: people on the ground, other vehicles, collision with manned aircraft; |
| [7] | 2D | GA | Offline | Working hours; Delivery range; Fuel consumption; Capacity; |
| [8] | 3D | PSO | Offline | Energy consumption; Flight risk; Maneuverability; Feasibility of the path; Aerial constraints; Restricted area; Collision avoidance |
| [9] | 2D | Risk A* (offline); Borderland (online); | Offline/ Online | Risk level; No-fly zones; Movement; |
| [10] | 3D | PSO | Online | Threat; Collision avoidance; |
| [11] | 2D/3D | PRM improved with D* lite | Offline/ Online | Possible collisions; |
| [12] | 3D | Improved GA and A* | Online | Horizontal and vertical error<br>Positioning error correction |
| [13] | 2D | ACO | Online | Flight path length; Threat cost; Movement restrictions; Intensity of the enemy threats; |

De Filippis et al. [4] used the Theta* algorithm for the fixed-wing UAV in a 3D environment. They explored graph structure to represent solutions and proposed “mask” subroutine to select neighbors used for expanding the current node. The authors of [4, 5, 7, 8] have demonstrated offline path-planning methods, while online path-planning approaches have been explored in [3, 10, 12, 13]. The method used by Primatesta et al. [9] presents a hybrid approach combining offline path planning with online recomputation. The authors propose an algorithm called Borderland, which addresses risk-aware path planning in urban environments. This algorithm adjusts the path dynamically in areas with changing population risk using a check and repair approach. Offline path computation is performed using risk A* and a risk-map, while online recomputation utilizes the Borderland algorithm, suitable for high-dimensional scenarios. Although not providing the optimal solution, Borderland generates paths with lower motion cost and computation time compared to the previous path.

Many papers employ established approaches, such as the A* algorithm and its variations, to address path-planning optimization problems. In [5, 9, 12], A* and its modifications are used. Especially, [5, 12] combine various approaches. Zhou et al. [12] propose a 3D trajectory planning algorithm that combines A* and genetic algorithm (GA) to satisfy various constraints related to system positioning accuracy, as the error, when accumulated, may cause mission failure. The algorithm aims to minimize trajectory length and the number of corrections while considering restrictions imposed by the UAV's structure and control system capabilities. The proposed algorithm demonstrates faster computation, lower cost, and improved performance in terms of trajectory planning and the number of correction points compared to traditional methods.

Li et al. [7] employed GA to optimize UAV routing with traffic restrictions. They developed a model considering environmental factors to analyze the efficiency of UAV delivery in reducing cost and energy consumption. The study focused on a scenario where a delivery company in an urban area uses vehicles equipped with UAVs to deliver parcels. The GA approach facilitated the generation of an initial solution and customer grouping to distribute assignments among UAV and ground vehicle. The authors considered constraints like vehicle working hours and delivery within those hours while minimizing fuel consumption and $CO_2$ emissions. Notably, serving 200 to 400 customers without UAVs required 3 to 4 vehicles, whereas, with UAV utilization, only 2 or 3 vehicles were necessary.

Risk assessment models for UAV path planning in urban environments are proposed in [5]. The authors used a risk-cost map considering various risk categories and collision probability. They applied Dijkstra, modified A*, and modified Ant Colony Optimization (ACO) algorithms for cost-effective path planning. The modification of A* included redefining the heuristic distance based on the minimal risk cost in the map. ACO was used as a global optimization algorithm to search for the shortest path, with modifications to improve efficiency. Results showed that risk-cost-based path planning produced safer paths compared to traditional methods. The risk was highest in downtown areas, followed by sparse areas, while the airport area had the lowest risk. Modified A* performed best for finding paths with the lowest risk, while ACO was faster for time-critical operations with relatively low-risk paths. In [3], Cheng et al. proposed a cooperative path planner for UAVs using ACO. Each UAV's path was represented as a B-spline curve optimized through ACO to maximize total coverage. The 3D terrain was divided into a grid, and coverage was achieved by visiting each grid section. The optimization considered path length, minimum turning angle, maximum pitch rate, and overlapping areas with other UAVs' paths. The objective was to maximize path desirability. Results compared the cooperative and noncooperative path planners, showing that the cooperative approach achieved over 10% better coverage by considering overlapping areas during optimization. However, the path length, minimum turning angle, and maximum pitch rate of the cooperative paths were slightly degraded by up to 6% compared to the noncooperative planner. Zhang et al. [13] developed a new UAV path-planning method based on the ACO. The target position represents the food source, and it is up to the ants to find it. This is achieved by dividing the flying area into a grid and optimizing the path between starting and ending points. ACO takes a positive feedback mechanism by considering the intensity of the enemy threats on the path and the distance to the destination node. For the evaluation function, the authors considered the weighted sums of the flight path length, the threat cost, and the maximum restriction of the yaw angle. Updating the pheromone amounts on the paths is done according to the evaluation function values. Ants choose their next route based on pheromone amount. What they found to be the best UAV’s flight path is represented by a group of node numbers, which is obtained by the ants finding the optimal route to the food source. Their simulation results proved that ACO effectively and quickly accomplishes UAV path planning, but still, smoothening process is necessary for real-life applications.

Ahmed et al. [8] proposed a trajectory planner based on the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm for distributed full coverage optimal path planning in the surveillance domain. PSO was implemented independently in each UAV to maximize the dynamic fitness function and minimize the cost function. This algorithm was used to generate the trajectory, while the Bresenham algorithm ensured full coverage of the operational area. The authors designed a multi-objective fitness function considering energy consumption, flight risk, maneuverability, and path feasibility. The results showed that the combination of PSO and the Bresenham algorithm facilitated the surveillance of the area of interest with multiple UAVs, generating optimized collision-free trajectories. In [10], Shao et al. improved the efficiency of PSO for UAV path planning with obstacle avoidance. They recognized the significance of the initial particle distribution and proposed using a logistic chaos map instead of random distribution. They also dynamically adjusted inertia and acceleration coefficients through an adaptation coefficient to influence convergence speed and search direction. Energy consumption was considered by including the path length ratio for calculating the shortest path. However, their approach has high time complexity and does not address re-planning of the path when encountering unexpected threats.

Xue et al. [11] improved the traditional Probabilistic Roadmap Method (PRM) approach by combining it with the D* lite algorithm. Their approach reduced the number of random points needed and addressed the failure probability issue. Although they ignored the constraints of UAVs in practical situations, the results showed that their method outperformed traditional PRM in terms of running time and path length, regardless of the number of obstacles. The experiments were conducted in both 2D and 3D environments using Matlab. An integer linear programming (ILP) formulation is proposed in [2] to adjust the UAV's trajectory based on destination and wireless network capacity. The authors considered trajectory constraints, such as the maximum ratio of lost messages during localization transmission. The authors used Matlab and CPLEX to analyze the impact of wireless control station density on the number of solutions and UAV trajectory.

## 4. CONCLUSION

The main contribution of this paper is highlighting the exponential growth of research in UAV path-planning and the expanding possibilities and problem variations in this field. It underscores the importance of carefully analyzing constraints for each specific application and suggests exploring the utilization of the same algorithm across different types of constraints and environments to uncover a wider range of possibilities in UAV path planning. By implementing and testing the algorithm under various conditions, a more comprehensive understanding of its capabilities and limitations can be gained. Such an approach allows researchers to explore a broader range of possibilities and make informed decisions when applying UAV path-planning algorithms to real-world scenarios. In addition, to address the constraints, our review emphasizes the critical challenges of safety, airspace management, and regulatory compliance that need to be overcome for the seamless integration of UAVs into various industries. Ensuring the safety of UAV operations, managing airspace congestion, and complying with relevant regulations are essential aspects that must be considered during the path planning process.

The most promising approach appears to be the one analyzed in the paper is the Borderland algorithm proposed by [9]. It offers a promising approach for risk-aware path planning in urban environments. By dynamically adjusting paths based on changing population risk, it improves safety and efficiency. However, it does not guarantee optimal solutions and relies on accurate risk assessment and timely updates. Addition investigation is needed to address these limitations and develop comprehensive path planning algorithms.

Future research should focus on addressing the identified shortcomings and exploring new approaches to further enhance the efficiency, adaptability, and robustness of UAV path planning algorithms.

For example, developing innovative approaches to tackle these challenges, providing robust and reliable solutions that facilitate the integration of UAVs into our daily lives seem as promising research topics. Overall, the exponential growth of research in UAV path planning and the increasing number of use cases for UAVs highlight the immense potential and benefits that these autonomous aerial vehicles can bring to various industries. However, to fully leverage their capabilities, it is crucial to address the challenges of constraint analysis, safety, airspace management, and regulatory compliance. By doing so, we can pave the way for a seamless integration of UAVs into our daily lives and unlock the full potential of this transformative technology.

## ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia Agreements Nos. 451-03-47/2023-01/200029 and 451-03-47/2023-01/200128.

## REFERENCES

[1] A. Global. (2016). Rise of the drones managing the unique risks associated with unmanned aircraft systems uas the nuts and bolts types of uas. The case of the drone industry, Allianz Global Corporate & Specialty SE, 89.

[2] Bekhti M, Abdennebi M, Achir N, Boussetta K. (2016). Path planning of unmanned aerial vehicles with terrestrial wireless network tracking. In Wireless Days (WD), 1-6.

[3] Cheng CT, Fallahi K, Leung H, Chi KT. (2009). Cooperative path planner for UAVs using ACO algorithm with Gaussian distribution functions. In IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 173-176.

[4] De Filippis L, Guglieri G, Quagliotti F. (2012). Path planning strategies for UAVS in 3D environments. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 65(1-4), 247-264.

[5] Hu X, Pang B, Dai F, Low KH. (2020). Risk assessment model for UAV cost-effective path planning in urban environments. IEEE Access. (2020), 8, 150, 162-173.

[6] Khan MT, Muhammad Saad M, Ru Y, Seo J, Kim D. (2021), Aspects of unmanned aerial vehicles path planning: Overview and applications. International Journal of Communication Systems, 34(10):e4827.

[7] Li Y, Yang W, Huang B. (2020). Impact of UAV delivery on sustainability and costs under traffic restrictions. Mathematical Problems in Engineering.

[8] K. C. Nafis Ahmed, Chaitali J. Pawase. (2021). Distributed 3-D Path Planning for Multi-UAVs with Full Area Surveillance Based on Particle Swarm Optimization. Applied Sciences [Internet], 11(8):3417.

[9] Primatesta S, Guglieri G, Rizzo A. (2019). A risk-aware path planning strategy for UAVs in urban environments. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 95:6, 29-43.

[10] Shao S, Peng Y, He C, Du Y. (2020). Efficient path planning for UAV formation via comprehensively improved particle swarm optimization. ISA transactions, 97:4, 15-30.

[11] Xue Q, Cheng P, Cheng N. (2014). Offline path planning and online replanning of UAVs in complex terrain. In Proceedings of 2014 IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference, 2287-2292.

[12] Zhou H, Xiong HL, Liu Y, Tan ND, Chen L. (2020). Trajectory planning algorithm of UAV based on system positioning accuracy constraints. Electronics, 9(2), 250.

[13] Zhang C, Zhen Z, Wang D, Li M. (2010). UAV path planning method based on ant colony optimization. In 2010 Chinese control and decision conference, 3790-3792.

[14] Zhang Z, Zhang J, Wang P, Chen L. (2018). Research on operation of UAVs in non-isolated airspace. CMC-Comput. Mater. Continua, 57(1), 151-66.

# СИМУЛАЦИЈЕ И СТОХАСТИЧКИ МОДЕЛИ

# SIMULATION AND STOCHASTIC MODELS

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50. СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# СИМУЛАЦИОНИ МОДЕЛ ПРОЦЕСА ИСКРЦАВАЊА ПУТНИКА ИЗ АВИОНА

# SIMULATION MODEL OF THE PROCESS OF DISEMBARKING PASSENGERS FROM THE PLANE

КРИСТИНА ТРИФУНОВИЋ, МАРКО ЂОГАТОВИЋ

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет, {kristina.trifunovic, m.djogatovic}@sf.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Трајање процеса прихвата и отпреме авиона (у који спада и процес искрцавања путника из авиона) значајно утиче на ефикасност и оптимизацију пословања авио-компанија. Тренутно се приликом процеса искрцавања путника не примењују никакве стратегије. У овом раду су моделиране различите стратегије искрцавања помоћу симулације. Анализирана су времена трајања процеса за различите стратегије, али и за различит број комада ручног пртљага који путници уносе у авион.*

***Кључне речи:*** *симулациони модел, стратегије искрцавања, ручни пртљаг, време прихвата и отпреме*

***Abstract:*** *The aircraft turnaround time (which also includes the process of disembarking passengers from the aircraft) significantly affects the efficiency and optimization of airline operations. Currently, there are no strategies applied during the passenger disembarkation process. In this paper, different deplaning strategies are modeled using simulation. Process times were also analyzed for different strategies and for the different number of pieces of hand luggage that passengers bring onto the aircraft.*

***Keywords:*** *simulation model, deplaning strategies, hand luggage, turnaround time*

---

## 1. **УВОД**

Свака авио-компанија непрекидно тежи ка оптимизацији свог пословања, а циљ јесте увећање профита, али и побољшање ефикасности приликом обављања њихове основне делатности – превоза путника. Побољшање ефикасности представља задатак који се састоји од великог броја међусобно повезаних елемената, а један од битнијих делова овог задатка јесте смањење времена прихвата и отпреме авиона. Процес прихвата и отпреме подразумева низ активности које је потребно обавити како би авион успешно обавио извршени лет и био спреман да крене на нови, [2]. Смањење времена прихвата и отпреме је од великог значаја за авио-компанију из више разлога. Услед веома мале контроле трошкова горива, авио-компаније могу своје трошкове смањити смањењем времена обрта, чиме се може повећати искоришћеност ваздухоплова, што је у интересу авио-компаније, јер им ваздухоплови доносе приход искључиво док се налазе „у лету“.

Процес прихвата и отпреме се састоји од низа активности као што су: постављање авио-моста, искрцавање путника, чишћење путничке кабине, снабдевање авиона горивом, кетеринг сервиса, истовар/утовар пртљага и робе из/у багажник, укрцавање путника и на самом крају, уклањање авио-моста. Неке од ових активности је могуће обављати симултано, међутим, неке од њих су у већини случајева део критичног пута, попут укрцавања и искрцавања путника. Критични пут пружа информацију о минималном времену неопходном да се обави комплетан процес прихвата и отпреме и о активностима које диктирају то време (критичне активности). Уколико се промене времена трајања критичних активности, доћи ће до промене трајања целокупног процеса, [2]. Укрцавање путника је процес који може да контролише авио-компанија, јер се позивање путника на укрцавање може вршити према усвојеном редоследу, обично у групама. За разлику од процеса укрцавања приликом искрцавања путника већи број авио-компанија не користи никакве стратегије и путници напуштају своја седишта чим авион слети. Приликом напуштања авиона путници устају са додељеног седишта, узимају ручни пртљаг, уколико га поседују, крећу се кроз пролаз и напуштају авион кроз предња врата. Процес искрцавања путника је завршен када и последњи путник напусти авион.

Примена стратегија приликом процеса искрцавања путника из авиона је релативно неистражена област и мали број научних радова се бави управо овом тематиком. Значајан допринос у овој области донео је рад [5] који је омогућио додатно разумевање процеса искрцавања путника из више разлога, а неки од њих су да је узето у обзир руковање ручним пртљагом и сметње које путници праве једни другима.

Анализа утицаја различитих конфигурација путничке кабине на трајање процеса укрцавања и искрцавања путника, коришћењем упрошћеног модела приказана је у раду [1]. Коришћене су три конфигурације путничке кабине, као и две стратегије искрцавања, али у обзир није узета могућност формирања реда приликом искрцавања.

У раду је за анализу процеса искрцавања путника изавиона коришћена дискретна стохастичка симулација.Симулација је скуп техника, метода и алата за развој симулационог модела реалног система и коришћење тог модела у циљу описивања понашања система. Сврха симулације је да развије симулациони модел и спроведе експерименте над симулационим моделом у циљу бољег разумевања реалног система, [4].

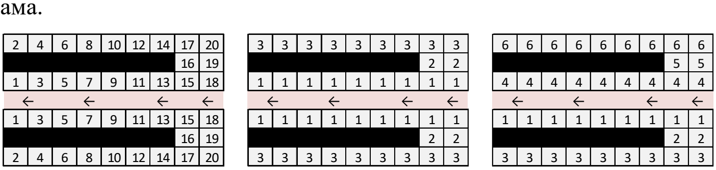
Овај рад се састоји из пет поглавља. Приказ стратегија које се моделирају приказан је у Секцији 2. Опис симулационог модела, као и резултати симулације за једну од изабраних стратегија приказани су у Секцији 3. У Секцији 4 су изложени потенцијални проблеми примене изабраних стратегија, док су у последњој секцији дата закључна разматрања.

## 2. ПРОЦЕС ИСКРЦАВАЊА ПУТНИКА ИЗ АВИОНА – СТРАТЕГИЈЕ

У тренутку када авион слети, путници устају са додељених седишта у жељи да авион напусте у што краћем временском року. Може се рећи да се процес искрцавања путника из авиона одвија ред по ред, али уз међусобно гурање и посезање за пртљагом који се налази у одељку изнад седишта, није у потпуности јасно који путник је на реду за напуштање авиона.

За потребе овог рада и израду модела су изабране три стратегије искрцавања о којима је, уз мале измене, већ било речи у раду [5]:

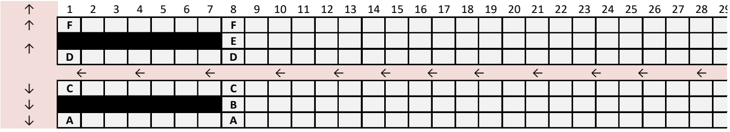
- ***Front-to-back*** – инверзно стратегији укрцавања путника у авион, приликом ове стратегије прво се искрцавају путници који седе у првом реду, затим путници у другом, трећем, а на самом крају путници који седе у последњем реду (Слика 1а).
- ***Inside-out*** – како и сам назив наговештава, авион прво напуштају сви путници смештени до пролаза, затим путници који седе на седиштима у средњем реду, а на крају путници смештени до прозора (Слика 1b).
- ***One column*** – у овој стратегији редослед напуштања авиона је такав да предност имају путници који седе до пролаза, након чега долазе путници који седе у средини и на самом крају путници који седе до прозора (Слика 1c). Разлика у односу на претходно наведену *Inside-out* стратегију је у томе што путници додељена седишта напуштају у колонама.



a) b) c)

Слика 1. Стратегије коришћене у моделу: *Front-to-back (a), Inside-out (b) i One Column (c).*

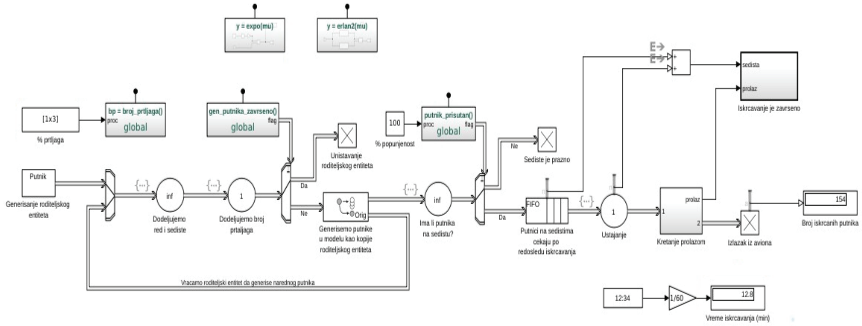
Као референтни авион по коме је рађен модел узет је авион *Airbus* A320-200 који се налази у флоти авио-компаније *Lufthansa* (тренутно водеће авио-компаније у Европи), у конфигурацији од 168 седишта, од чега су 154 седишта намењена превозу путника (сива боја на Слици 2). Авион A320-200 припада *Airbus*-овој A320 фамилији и у 2022. години се налазио на првом месту на листи најзаступљенијих авиона са учешћем од 20,5% у броју летова на свету, [3].



Слика 2. Конфигурација референтног авиона A320-200 који се користи у моделу

## 3. СИМУЛАЦИОНИ МОДЕЛИ ПРОЦЕСА ИСКРЦАВАЊА ПУТНИКА ИЗ АВИОНА

На Слици 3 приказан је модел система *Front-to-back* стратегије реализован коришћењем *SimEvents* библиотеке графичког алата за моделирање динамичких система *Simulink*.



Слика 3. Изглед модела за *Front-to-back* стратегију искрцавања.

Процес искрцавања путника из авиона се дешава након што авион слети на аеродром одредишта. Да би се путници искрцали из авиона, потребно је прво обавити њихово укрцавање у исти на полазном аеродрому. Модел започиње генерисањем свих путника у авиону којима се додељује ред, седиште и број комада ручног пртљага (0, 1 или 2) према редоследу изласка.

При слетању авиона на аеродром одредишта, путници могу да устану са својих седишта и да преузму ручни пртљаг уколико им је пролаз до седишта празан и уколико седе на седишту које се налази до пролаза. Како и сам назив *Front-to-back* стратегије указује на то да авион прво напуштају путници смештени у предњем делу истог, односно, путници не могу да напусте авион док се не испразни ред који се налази испред њиховог реда.

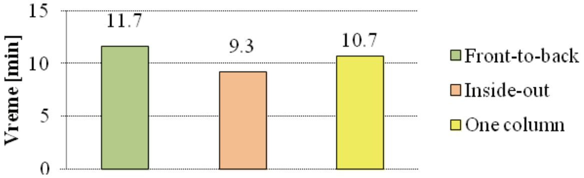
Путник који седи у првом реду до пролаза устаје, а за ту активност му је потребно три секунде, [1]. Након тога узима ручни пртљаг и напушта авион. Трајање процеса узимања ручног пртљага зависи од броја комада истог, а уколико путник има једну торбу ова активност је представљена експоненцијалном расподелом, са средњом вредношћу од 5 секунди, док се у случају две торбе користи Ерлангова расподела расподела другог реда са средњом вредношћу од 10 секунди. Сваки корак који путник направи траје једну секунду, при чему је путницима потребан један корак да пређу један ред седишта, [1].

Важно је напоменути да уколико авион прво напусти путник који седи до пролаза са леве стране, за њим ће авион напустити путник који седи на седишту до њега. Процес искрцавања је идентичан за свих 29 редова, уз изузетак да од осмог реда у сваком реду постоји три, а не два седишта, што је био случај за првих седам редова (Слика 2).

У моделу је усвојено да се путници понашају онако како се од њих захтева и да чекају свој ред за напуштање авиона, односно, људско понашање, тј. жеља путника да авион напусте што пре није узета у обзир. Симулација, која је започета оног тренутка када први путник почиње процес искрцавања, завршава се оног тренутка када последњи путник напусти авион. Модели за остале стратегије искрцавања су већим делом слични претходно описаном моделу, уз мале измене према редоследу искрцавања. Код *One column* и *Inside-out* стратегије не генеришу се одмах сви путници, већ путници по једној колони (*One column*) или путници у две колоне идући од унутрашњих ка спољашним (*Inside-Out*). Нови путници се не генеришу све док претходно генерисани не изађу из модела.

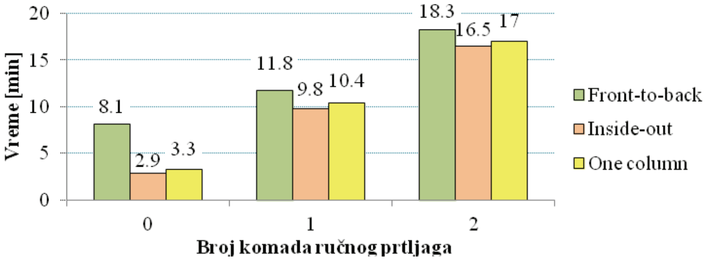
## 3.1. Резултати симулације

Као један од резултата симулације добијено је укупно време искрцавања путника из авиона уколико се приликом процеса искрцавања примењују три различите стратегије, под претпоставком да је коефицијент попуњености путничке кабине 100% (Слика 4). Са Слике 4 се може уочити да најкраће трајање процеса искрцавања путника из авиона омогућава *Inside-out* стратегија, док се између остале две стратегије време трајања разликује за око један минут. У стварности, трајање процеса искрцавања може да траје од 10 до 20 минута, у зависности од величине авиона, као и коефицијента попуњености путничке кабине. Ако претпоставимо да је за авион *A320-200* потребно приближно 30 секунди да се испразни један ред и узимајући у обзир конфигурацију коришћену у моделу (29 редова), просечно време трајања овог процеса је 14,5 минута. Све три стратегије дају време које је мање од 14,5 минута, при чему *Inside-out* стратегија овај процес смањује за 5,2 минута.



Слика 4. Времена трајања процеса искрцавања путника из авиона за различите стратегије искрцавања.

На Слици 4 је приказан случај у коме процентуално једнак број путника не носи ниједан, носи један или два комада ручног пртљага. Као резултат симулације добија се и време трајања процеса искрцавања за различите сценарије расподеле броја комада ручног пртљага (Слика 5).



Слика 5. Време трајања процеса искрцавања у зависности од броја комада ручног пртљага.

Са Слике 5 се уочава да *Inside-out* стратегија за сва три сценарија даје најкраће време искрцавања, али оно што је још битније јесте уочити колико број комада ручног пртљага утиче на трајање читавог процеса. У случају најспорије стратегије (*Front-to-back*), уколико сваки путник у авиону поседује само један комад ручног пртљага, читав процес ће трајати 3,7 минута (+45%) дуже него када путници путују без истог. Уколико сваки путник понесе по два комада ручног пртљага, процес ће се додатно повећати за 6,5 минута (+55%).

У случају стратегије (*Inside-out*), разлика у временима трајања процеса је још већа за различите сценарије. Процес искрцавања, који траје мање од 10 минута у случају када сви путници поседују само један комад ручног пртљага, се повећава за 6,7 минута (+68%) када сви путници понесу две торбе на дати лет.

Важно је напоменути да су приликом симулације занемарени различити сценарији који могу да се десе путницима током преузимања пртљага – да се исти заглави и/или да се налази далеко од седишта на коме путник седи. Када би се у обзир узели претходно наведени нежељени сценарији, може се претпоставити да би читав процес трајао дуже.

Резултати симулације су добијени кроз више различитих симулационих експеримената при чему је сваки реализиван 10 пута. Приликом извођења симулационих експеримената вођено је рачуна о статистичкој независности.

## 4. МОГУЋНОСТ ПРИМЕНЕ НАВЕДЕНИХ СТРАТЕГИЈА У ПРАКСИ

Изазов који се ставља пред авио-компаније јесте на који начин је могуће имплементирати наведене стратегије. Највећи изазов и главни разлог зашто процес искрцавања путника из авиона траје дуго јесте време које је потребно путницима да узму ручни пртљаг из одељка који им се налази изнад седишта. У овом раду се делимично узети у обзир одређени фактори, попут физичке способности путника да безбедно спусти ручни пртљаг из одељка који се налази изнад седишта, као и да ли се ручни пртљаг одређеног путника налази близу или далеко од места на коме он седи што може закомпликовати примену одређене стратегије.

Поставља се питање како ће примена ових стратегија утицати на породице са децом, као и на особе којима је потребна додатна помоћ приликом напуштања авиона. У случају примене *Inside-out* или *One column* стратегија, путници ће се раздвојити од особе до које седе, што је за претходно наведене групе путника нежељена или немогућа опција. Једно од решења јесте да се приоритетно искрцавање дозволи наведеним групама путника.

Поред наведених стратегија, одређене авио-компаније (нпр. *Southwes*t) покушале су да на неким летовима процес искрцавања путника убрзају тако што ће путници излазити на двоја врата. Једна врата се налазе у предњем делу трупа, а путници искрцавање обављају користећи авио-мост, док се друга врата налазе у задњем делу трупа, а путници авион напуштају помоћу степеница. Овај сценарио је непрактичан, јер уколико путници напуштају авион на овакав начин у лошим временским условима, то може негативно да се одрази на њихово задовољство.

## 5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је анализирано трајање процеса искрцавања путника из авиона за различите стратегије искрцавања помоћу симулације у графичком алату за симулационо моделирање *Simulink*. *Inside-out* стратегија бележи најбоље временске резултате, а разматране су и *Front-to-back* и *One column* стратегије. Поређењем ових стратегија са временом трајања процеса искрцавања уколико се не примењује ниједна стратегија уочава се одређена уштеда у времену. Поред тога, анализиран је утицај броја комада ручног пртљага на трајање укупног процеса искрцавања путника. Показано је да број комада ручног пртљага значајно утиче на повећање времена искрцавања путника из авиона.

Даља истраживања на ову тему могла би да обухвате додатне стратегије искрцавања или додатне типове авиона, али такође и укључивање и стварних вредности за поједине параметре који су у овом раду били претпостављени. Поред тога, неке авио-компаније користе двоја врата приликом процеса искрцавања путника, па би даља истраживања могла бити усмерена и у том правцу.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] De Oliveira, D.B.P., Coelho, J.N. и De O. Moraes, A. (2021). A Simplified Model to Assess the Influence of the Configuration of Commercial Aircraft on Boarding and Deboarding. *International Jurnal of Aerospace Engineering*, vol. 2021.

[2] Мирковић, Б. и Тошић, В. (2019). Ваздухопловна пристаништа 2. Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет.

[3] Pearson, J. (2022). These Were The Most Used Commercial Aircraft Types In 2022. Преузето у мају 2023. са https://simpleflying.com/most-used-commercial-aircraft-types-2022/

[4] Radenković, B., Stanojević, M., & Marković, A. (1999). Računarska simulacija. Beograd: SF-FON.

[5] Wald, A., Harmon, M. и Klabjan D. (2014). Structured deplaning via simulation and optimization. *Journal of Air Transport Management*, 36(2014), 101-109.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# СИМУЛАЦИОНА АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПРОМЕНЕ ЛОКАЦИЈА УТОВАРНОГ МЕСТА У СЛУЧАЈУ РЕКОНСТРУКЦИЈЕ СКЛАДИШТА

# SIMULATION ANALYSIS OF THE IMPACT OF CHANGING THE LOCATION OF THE LOADING POINT IN THE CASE OF WAREHOUSE RECONSTRUCTION

МАЈА ПЕЈИЦА[1], МАРКО ЂОГАТОВИЋ [2], МИЛОРАД СТАНОЈЕВИЋ [2]

[1] НИС а.д., maja.pejica@nis.eu,
[2] Универзитет у Београду - Саобраћајни факултет, m.djogatovic@sf.bg.ac.rs, milorad@sf.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Транспорт опасних материја ограничен је бројним регулативама, специфичностима утоварно/истоварних процеса као и ограниченим и незаменљивим техничким капацитетима самог процеса (утовар-транспорт-истовар). Један од најзначајнијих потпроцеса је правовремена и оптимална организација ресурса, обезбеђивање одговарајућих возила и расположивих возача као и планирање пристизања на утовар, распореда и редоследа утоварања како би се смањило непродуктивно време и чекање. У раду је спроведено истраживање утицаја промене локације утоварног места (скадишта) на утовар различите врсте робе (беле и ТНГ) и транспорт опасних материја до крајњег купца на одређеном региону. Реални подаци из система прикупљени у току дванаестомесечног периода користе се као улазни подаци симулационог модела. Циљ овог рада је да покаже разлику у пређеним километрима у зависности од места утовара што има директни утицај на укупне трошкове пословања у транспорту опасних материја.*

***Кључне речи:*** *утоварно-истоварне операције, ланци снабдевања, симулационо моделирање.*

***Abstract:*** *Transport of dangerous goods is limited by numerous regulations, specifics of loading / unloading processes as well as limited and irreplaceable technical capacities of the process itself (loading-transport-unloading). One of the most significant sub-processes is the timely and optimal organization of resources, the provision of suitable vehicles and available drivers, as well as the planning of arriving at loading, loading schedules and loading order to reduce unproductive times and idling. In the paper, a study of the impact of changing the location of the loading point (warehouse) on the loading of different types of goods (petrol and LPG) and the transport of hazardous materials to the final customer in a certain region was carried out. Real data from the system collected during a twelve-month period are used as input data of the simulation model. The goal of this paper is to show the difference in kilometers traveled depending on the place of loading, which has a direct impact on the total costs of doing business in the transportation of dangerous goods.*

***Keywords:*** *loading-unloading operations, supply chains, simulation modeling.*

---

## 1. УВОД

Материје и предмети, чији је транспорт забрањен или дозвољен ако се обавља под условима одређеним у ADR (Европски споразум о међународном друмском превозу опасне робе) сматрају се опасном робом. Сложеност обезбеђивања транспорта опасних материја произилази из ограниченог броја возила, техничких и технолошких ограничења, сезонских варијација и строгих законских и безбедносних ограничења. У опасну робу спадају и нафта и деривати нафте за које је неопходно обезбедити континуитет у снабдевању тржишта без обзира на наведена ограничења. Из тог разлога се намеће потреба за развијањем модела управљања који ће обезбедити непрекидност, одрживост и кретање транспортних капацитета у складу са трендовима потрошње горива [2].

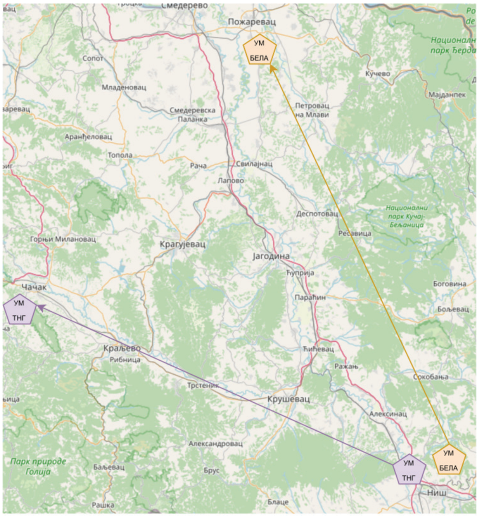
Симулација је скуп техника, метода и алата за развој симулационог модела реалног система и коришћење тог модела у циљу описивања понашања система. Сврха симулације је да развије симулациони модел и спроведе експерименте над симулационим моделом у циљу бољег разумевања реалног система [4].

У раду је анализиран утицај промене локације утоварног места предузећа за производњу, прераду и дистрибуцију нафте и нафтних деривата за период од шест месеци. Разматрано предузеће поседује хетерогени возни парк намењен за превоз опасних материја различитих врста, капацитета и старосне структуре (коефицијента техничке исправности). У циљу анализе постојећих перформанси рада једног сегмента укупне доставе (јужни регион) и одређивања повећања трошкова за време реконструкције складишта када ће утовар робе бити могућ једино са других локација, развијен је симулациони модел на бази историјских података о фреквенцији и начину опслуге из претходне године.

## 2. ЛАНАЦ СНАБДЕВАЊА И ПРОМЕНА ЛОКАЦИЈЕ УТОВАРНОГ МЕСТА

На основу дневног плана превоза, издаје се путни налог и распоред приоритета истовара. У складу са налогом за утовар и издатим путним налогом за теретно возило, возач возила започиње вожњу, извршава: одлазак до места утовара, утовар, превоз, истовар нафтних деривата и повратак на наредну дефинисану локацију.

Посматрани регион се опслужује флотом од 15 возила (2 возила за ТНГ и 13 за белу робу) са различитом носивошћу по скупу возила и 52 професионалних возача. У овом тренутку, посматрана флота у просеку има дневно 37 испорука беле робе и 4 испорука ТНГ-а. Возила за белу робу имају просечно 1,47 испорука по утовару, док возила за ТНГ имају просечно 1,45 испорука по једном утовару. Просечан број утовара по дану по возилу је 1,95 утовара дневно за возила за белу робу и 1,65 утовара дневно по возилу за ТНГ. Продуктивност возног парка је, једним делом условљена и сразмерна величини испоруке, тј. повећање просечне величине испоруке, повећава продуктивност возног парка. Такође, додатно на продуктивност возног парка, значајно утиче и време које возило проводи у утоварним процесима, тј. обрнуто сразмерно – смањивањем времена проведеног у утоварним процесима повећавамо продуктивност возила и отпремних процеса.



**Слика 1:** Графички приказ Локација, Складиште које се реконструише и заменских утоварних места

На слици 1 је приказан графички приказ локација, складишта предвиђеног за реконструкцију и нових локација које ће преузети транспорт и доставу јужног региона. Постојећи доставни региони заменских складиста, у периоду реконструкције, биће снабдевани директно из Рафинерије.

Посматрајући радна времена места утовара и истовара, ограничења брзине саобраћаја, непродуктивно време (било које друго време осим времена чисте вожње) које обухвата и потпроцесе утовара и истовара, смањује коефицијент динамичког искоришћења корисне носивости возила, возног парка и продуктивности (у истом временском периоду, возило ће имати мање обрта и превозити мање робе него што би било са нижим вредностима непродуктивног времена [1,3].

## 3. СИМУЛАЦИОНИ МОДЕЛ

Симулациони модел је реализован у програмском језику Python. У ту сврху је реализована је нова симулациона библиотека коришћењем стратегије распоређивања догађаја [5]. Ова библиотека поседује ентитете ресурса и редова чекања, као и могућност праћења протеклог симулационог времена у виду датума и времена у току дана. Модел се реализује програмским повезивањем блокова. Блокова има дванаест и служе за генерисање и уништавање ентитета који се крећу кроз модел (Source, Sink), задржавање ентитета (Delay, Server) смештање и ослобађање ентитета из реда чекања (Enqueue, Dequeue), заузимање и ослобађање ресурса (Seize, Release, Server) итд. Сви улазни параметри смештени су у CSV (Comma Separated Values) датотеке. Датотеке се учитавају и обрађују коришћењем библиотеке за анализу података Pandas.

У табели 1 су приказана истоварна места као и роба која се на њима истоварује. Такође је дат број истовара за годину дана (2022 год.) по истоварном месту, као и просечно пређени пут у километрима до истоварног места за постојеће стање и у случају промене локације утоварног места. У табели 2 су дата возила и роба за коју су намењена, расподела броја истовара по утовару за свако од возила, као и расподела избора појединачног возила.

**Табела 1:** Истоварна места, број истовара у току годину дана, просечна километража пре премештања складишта и након тремештања складишта

| Роба | Истоварно место | Број истовара | Просечна километража утовар истовар 2022 | Просечна километража са нових утоварних места |
|---|---|---|---|---|
| Бела | 1 | 37 | 1 | 187 |
| Бела | 2 | 132 | 54 | 229 |
| ... | ... | .. | .. | ... |
| ТНГ | 147 | 16 | 52 | 219 |
| ТНГ | 148 | 40 | 151 | 212 |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| TNG | 193 | 22 | 39 | 195 |

**Табела 2:** Расподела избора возила и расподела броја истовара по возилу

| Возила | Роба | Расподеле броја истовара по утовару | | | | | Вероватноћа избора возила |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| a7 | TNG | 0.59 | 0.4 | 0.01 | 0 | 0 | 0.089 |
| a7 | TNG | 0.54 | 0.43 | 0.03 | 0 | 0 | 0.050 |
| a12 | Bela | 0.78 | 0.19 | 0.02 | 0.01 | 0 | 0.097 |
| a12 | Bela | 0.76 | 0.21 | 0.03 | 0 | 0 | 0.094 |
| a12 | Bela | 0.67 | 0.27 | 0.06 | 0 | 0 | 0.093 |
| a19 | Bela | 0.64 | 0.32 | 0.04 | 0 | 0 | 0.038 |
| a19 | Bela | 0.62 | 0.34 | 0.04 | 0 | 0 | 0.078 |
| a19+pk19 | Bela | 0.35 | 0.52 | 0.13 | 0 | 0 | 0.077 |
| TG+PPK | Bela | 0.68 | 0.32 | 0 | 0 | 0 | 0.085 |
| TG+PPK | Bela | 0.53 | 0.42 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.083 |

| Возила | Роба | Расподеле броја истовара по утовару | | | | | Вероватноћа избора возила |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| TG+PPK | Bela | 0.53 | 0.44 | 0.03 | 0 | 0 | 0.087 |
| TG+PPK | Bela | 0.52 | 0.45 | 0.03 | 0 | 0 | 0.048 |
| TG+PPK | Bela | 0.53 | 0.44 | 0.03 | 0 | 0 | 0.081 |
| TG+PPK | Bela | 0.39 | 0.5 | 0.1 | 0.01 | 0 | 0.089 |
| TG+PPK | Bela | 0.52 | 0.33 | 0.09 | 0.05 | 0.01 | 0.050 |

У табели 3 су приказана подаци значајни за одређивање времена између утовара, времена истовара, као и времена превоза одговарајуће робе. У табелама 4 и 5 дата радна времена истоварних места по данима у недељи за белу робу и ТНГ, респективно.

**Табела 3:** Подаци значајни за одређивање времена између утовара, времена истовара и времена превоза одговарајуће робе

| Роба | Број утовара | Број истовара | Ауто часови на утовару | Ауто часови на истовару | Средња саобраћајна брзина |
|---|---|---|---|---|---|
| Бела | 9754 | 14682 | 8336 | 1449 | 55.1 |
| ТНГ | 1212 | 1936 | 1293 | 1727 | 51.3 |

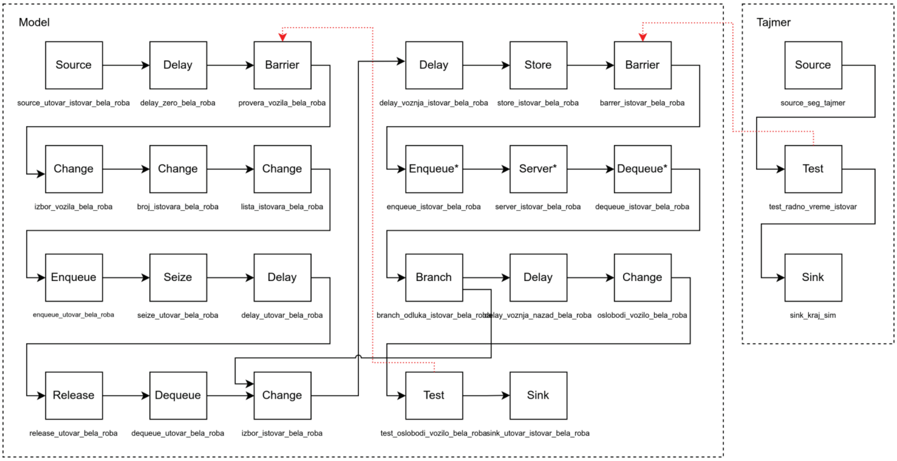
**Табела 4:** Радно време истоварних места за белу робу

| ИМ | Понедељак | | Уторак | | Среда | | Четвртак | | Петак | | Субота | | Недеља | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | од | до | од | до | од | до | од | до | од | до | од | до | од | до |
| 1 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 |
| 2 | 6 | 22 | 6 | 22 | 6 | 22 | 6 | 22 | 6 | 22 | 6 | 22 | 6 | 22 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 145 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 |

**Табела 5:** Радно време истоварних места за ТНГ

| ИМ | Понедељак | | Уторак | | Среда | | Четвртак | | Петак | | Субота | | Недеља | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | од | до | од | до | од | до | од | до | од | до | од | до | од | до |
| 147 | 6 | 22 | 6 | 22 | 6 | 22 | 6 | 22 | 6 | 22 | 6 | 22 | 6 | 22 |
| 148 | 6 | 24 | 6 | 24 | 6 | 24 | 6 | 24 | 6 | 24 | 6 | 24 | 6 | 24 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 193 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 | 0 | 24 |

На слици 2 је дат дијаграм са кога је могуће видети начин повезивања блокова у моделу транспорта беле робе. Сличан модел се користи и за транспорт ТНГ робе. Звездица поред назива блока значи да блок бира ентитет из колекције ентитета (возило иде на једно од 145 истоварних места и редова чекања испред тих истоварних места у случају беле робе). Store, Barrier и Test блокови задржавају возило до отварања истоварног места. Уколико је тренутак доласка возила на истоварно место ван радног времена возило чека у блоку Store. Store блок се разликује од реда чекања у томе што може да пропусти било који покретни ентитет који задовољава услов преласка у наредни блок. Test (из сегмента Тајмера) и други Barrier блок су спрегнути и Test блок обавештава Barrier блок да је можда дошло до промене услова, односно почетка или краја радног времена. Barrier блок је блокирајући блок и он онемогућава даље кретање покретног ентитета кроз модел до испуњења услова. На сличан начин други пар Barrier и Test блокова блокира започињање утовара до ослобађања возила.



**Слика 2:** Дијаграм повезивања блокова у моделу транспорта беле робе

Број полазака возила из транспортних база у току дана је одређен Пуасоновом расподелом при чему се интензитет расподеле добија као однос броја полазака са часовима рада у току годину дана. Број часова рада се одређује на основу радног времена утоварних места и броја нерадних дана (празници и недеље). Складиште које је предвиђено за реконструкцију ради 6 дана недељно (недеља нерадни дан) од 6 h до 24 h за обе врсте робе, док је радно време складишта на које се пребацује утовар беле робе 7 дана недељно од 0 h до 24 h. Утовар ТНГ-а на новом складишту ради 7 дана у недељи од 7 h до 22 h. На нивоу године складишта и транспорт имају три нерадна дана: 1. и 7.јануар (Нова година, Божић) и Васкрс.Такође, приликом истовара се води рачуна да се роба истоварује у току радног времена истоварног места.

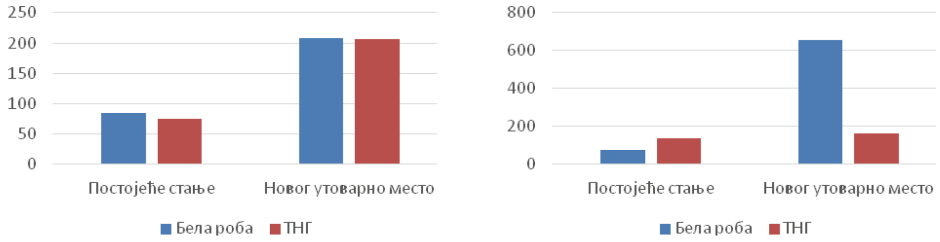
## 4. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

Симулациони експеримент је спроведен 50 пута и при томе је вођено рачуна о статистичкој независности, што би значило да је при сваком извршењу симулације коришћен различити скуп семена генератора случајних бројева.

Изабрани симулациони период је 6 месеци (181 дан), од 1. јануара до 30. јуна, при чему су из симулационог периода искључене недеље и државни празници.

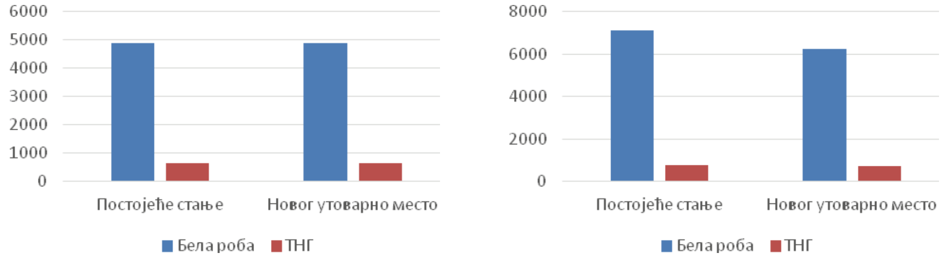
Добијени усредњени резултати релевантни за рад система у шестомесечном временском периоду приказани су на сликама 3 и 4. На слици 3 а) је приказан просечно пређени пут возила изражен у километрима за белу и ТНГ робу када се роба утовара на постојећем складишту или на пребаченом складишту на новој локацији. У случају беле робе просечно пређени пут са нове локације је 2,46 пута већи у односу на превоз робе са постојеће локације, док за ТНГ робу та вредност износи 2,77. На слици 3 б) је приказан број возила која ће чекати на утовар услед заузетости возила у возном парку за белу и ТНГ робу када се роба утовара на постојећем складишту или на пребаченом складишту на новој локацији. Број возила на чекању на новој локацији у случају беле робе је 8,69 пута већи у односу на број возила која би чекала на утовар на старој локацији, док за ТНГ робу та вредност износи 1,16.

На сликама 4 а) и 4 б) је приказан број утовара и истовара за белу и ТНГ робу када се роба превози са постојећег складишта и са пребаченог складишта које се налази на новој локацији. Вредности добијене симулацијом се поклапају са историјским подацима из 2022., године.



а) б)

**Слика 3:** Просечно пређени пут изражен у километрима (а) и просечан број утовара на чекању (б) за белу и ТНГ робу у случају коришћења постојећег складишта и након пребацивања складишта на нову локацију



а) б)

**Слика 4:** Просечан број утовара (а) и просечан број истовара (б) за белу и ТНГ робу у случају коришћења постојећег складишта и након пребацивања складишта на нову локацију

## 5. ЗАКЉУЧАК

У раду је извршена симулациона анализа утоварно-истоварних операција у транспорту опасних материја у ситуацији када се утовар беле и ТНГ робе врши на постојећем складишту или на складишту помереном на нову локацију. Симулациони модел је направљен коришћењем библиотеке засноване на стратегији распоређивања догађаја, реализоване у програмском језику Python. Симулационом анализом је утврђено да ће премештањем складишта на нову локацију доћи до значајног повећања пређеног пута возила што ће довести до повећане заузетости возила. а самим тим и до смањења броја извршених утоварно-истоварних операција.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Behdani, B., van Dam, K. H., & Lukszo Z. (2013). Agent-Based Models of Supply Chains. In K. H. van Dam, I. Nikolic & Z. Lukszo (Eds.), Agent-Based Modelling of Socio-Technical Systems (151–188). Dordrecht: Springer.

[2] van Dam, K. H., Adhitya, A., Srinivasan, R. & Lukszo, Z. (2008). Benchmarking numerical and agent-based models of an oil refinery supply chain. Proceedings of the 18th European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE 18), Lyon, France, 623-628

[3] Pall, K. & Karakostas, B. (2014). A Multi Agent-based Service Framework for Supply Chain Management. Procedia Computer Science, 32, 53 - 60.

[4] Radenković, B., Stanojević, M., & Marković, A. (1999). Računarska simulacija. Beograd: SF-FON.

[5] Tyszer, J. (1999). Object-Oriented Computer Simulation of Discrete-Event Systems. New York: Springer.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРОЦЕНА РИЗИКА УПОТРЕБЕ ВОЈНИХ ЈЕДИНИЦА У ВАНРЕДНИМ СИТУАЦИЈАМА ПРИМЕНОМ СИМУЛАЦИЈА

# RISK ASSESSMENT OF USING MILITARY UNITS IN EMERGENCY SITUATIONS BY SIMULATIONS

НЕНАД КОВАЧЕВИЋ[1], НЕНАД КОМАЗЕЦ[1], БРАНКО БАБИЋ[2]

[1] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, inz.84kula@gmail.com
[1] Војна академија, Универзитет одбране у Београду, nenadkomazec@yahoo.com
[2] Висока техничка школа струковних студија, Нови Сад, babic_sombor@yahoo.com

---

***Резиме:*** *Употреба војних јединица у ванредним ситуацијама је дефинисана документима која уређују област система одбране Републике Србије (легислативна и стратегијско-доктринарна). Наведена документа регулишу и систем командовања и руковођења војним јединицама. Доношење одлуке о употреби јединица на нивоу војне организације регулисано је посебним упутством. Процена ризика је саставни део процеса доношења војних одлука. У раду је приказана могућност примене симулационог софтвера „Јанус“ као својеврсног алата којим се омогућује доношење најцелисходније одлуке са становишта заштите снага. У раду су на основу конкретног модела приказане могућности симулационог софтвера „Јанус“ у процесу процене ризика употребе војних јединица (понтонирски батаљон) у ванредним ситуацијама узрокованим поплавама.*

***Кључне речи:*** *процена ризика, ванредне ситуације, симулациони софтвер.*

***Abstract:*** *The use of military units in emergency situations is defined by documents that regulate the area of the defense system of the Republic of Serbia (legislative and strategic-doctrinal). The aforementioned documents also regulate the system of command and control of military units. Making a decision on the use of units at the level of a military organization is regulated by a special instruction. Risk assessment is an integral part of the military decision-making process. The paper shows the possibility of applying the simulation software "Janus" as a kind of tool that enables the most expedient decision to be made from the point of view of force protection. Based on a specific model, the paper presents the possibilities of the "Janus" simulation software in the process of risk assessment of the use of military units (pontoon batallion) in emergency situations caused by floods.*

***Keywords:*** *risk assessment, emergency situations, simulation software.*

---

## 1. УВОД

Ванредне ситуације у протекле две деценије представљају незаобилазни сегмент у разматрањима безбедносних изазова, ризика и претњи безбедности Републике Србије. Сходно томе ради проактивног и/или реактивног деловања на располагању држави су сви безбедносни (одбрамбени) капацитети, односно субјекти и снаге система смањења ризика од катастрофа и управљања ванредним ситуацијама. Према члану 26. Закона о смањења ризика од катастрофа и управљања ванредним ситуацијама војне јединице (команде, јединице и установе Војске Србије) су снаге система смањења ризика од катастрофа и управљања ванредним ситуацијама. [5]

Употреба војних јединица у ванредним ситуацијама је употреба војске у миру, и сходно томе регулисана је легислативним и стратегијско-доктринарним документима која уређују систем одбране. Операционализација употребе војних јединица, односно процес доношења одлуке о употреби војних јединица јасно, прецизно и детаљно је детерминисан интерним војним документима. Базични документ који уређује ову област је Упутство за оперативно планирање и рад команди у Војсци Србије – привремено.

Управљање ризиком, односно процена ризика са становишта примене у процесу доношења војних одлука у Војсци Србије регулисано је кроз Упутство за оперативно планирање и рад команди у Војсци Србије – привремено у 7. кораку, 2. фазе модела процеса оперативног планирања, у тачкама од 343. до 347, као и кроз фазе: анализе варијанти употребе, поређење варијанти употребе, одобравање варијанти употребе и израда плана/наређења. [4]

Циљ овог рада је да се на основу, за потребе раније спроведеног истраживања, развијеног модела процене ризика употребе војних јединица (конкретно команде и јединица понтонирског батаљона) у ванредној ситуацији узрокованој поплавама презентује могућност примене симулационог софтвера „Јанус“ као алата који треба да помогне команданту, односно команди да у процесу доношења одлуке о употреби потчињених јединица донесе најцелисходнију одлуку (решење проблема) са становишта заштите снага које се ангажују.

Услед обимности рада неће се посебно објашњавати сам модел процене ризика употребе војних јединица, као ни примена управљања ризиком у процесу доношења војних одлука, већ ће се објаснити конкретна могућност примене симулација са аспекта заштите снага. [3] Израда симулација модела употребе понтонирског батаљона у ванредној ситуацији урађена је помоћу симулационог софтвера „Јанус“ који се годинама користи у Одсеку за симулације и учење на даљину Школе националне одбране – „Војвода Радомир Путник“ Универзитета одбране у Београду, а за потребе реализације наставно-образовног процеса на свим нивоима школовања и усавршавања у Универзитету одбране.

## 2. СИМУЛАЦИОНИ СОФТВЕР „ЈАНУС“

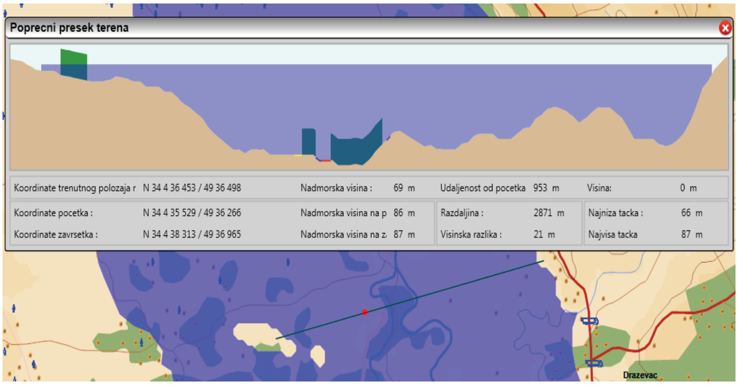
Конструктивно симулациони софтвер „Јанус“ дизајниран је за обуку команди и јединица од нивоа вода до бригаде, у коме се креирају реалне тактичке супозиције и даје потпуна слика једне операције тактичког или здружено тактичког нивоа, а развијен је од стране ОС Републике Француске. Софтвер је превасходно намењен да подржава различите сценарије борбених операција: нападне, одбрамбене, противтерористичке и противпобуњеничке операције и операције у урбаним срединама. Може да симулира подршку авијације, артиљерије, инжињерије, покрет снага и логистичку подршку. [1]

Међутим, на основу одређених могућности (које ће бити посебно објашњене) софтвер се може користити и за симулацију операција из домена 3. мисије Војске Србије, конкретно операције подршке цивилним властима у случају природних непогода и других несрећа и епидемија. Овде је битно нагласити да припрема вежбе на симулационом софтверу „Јанус“, у зависности од тога да ли се вежба реализује на терену који је већ унет у базу података софтвера, или се ради нови терен, траје од једног до три месеца.

Сценарио догађаја на којем се базира симулациони модел је израђен на основу стварних догађаја, односно употребе 1. понтонирског батаљона Речне флотиле на подручју градске општине Обреновац током 15. и 16.05.2014. године, односно елементи сценарија су преузети из припремног и допунских наређења команде 1. понтонирског батаљона и Извештаја штаба за ванредне ситуације градске општине Обреновац и коришћени су искључиво за потребе истраживања. [3]

Софтвер „Јанус“ има могућност да у реалном времену и простору прати ток поплаве, односно нарастање водене масе на основу задатих параметара (брзина нарастање воде у јединици времена, локација изливања – „референта тачка изливања“ и плављење подручја у складу са рељефним карактеристикама) за одређени географски простор. [1] За потребе израде симулационог модела коришћени су стварни подаци о стању водостаја на рекама Тамнава и Колубара за месец мај 2014. године, а који су преузети из Хидролошког годишњака за 2014. годину. [2]

Такође, софтвер „Јанус“ има могућност да у сваком тренутку прикаже попречни пресек поплављеног подручја, са подацима у вези: координата задатих тачака (крајњих тачака и референтне тачке) у UTM мрежи; надморских висина задатих тачака; вредности дистанце између тачака; и однос највиша-најнижа тачка пресека (Слика 1). На изабраном делу поплављеног подручја може се вршити прорачун површине подручја, као и број угожених лица на подручју. На Слици 1 црвена тачка је референтна тачка, док су крајње тачке пресека – крајеви праве.


Poprecni presek terena

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Koordinate trenutnog polozaja r | N 34 4 36 453 / 49 36 498 | Nadmorska visina : | 69 m | Udaljenost od pocetka | 953 m | Visina: | 0 m |
| Koordinate pocetka : | N 34 4 35 529 / 49 36 266 | Nadmorska visina na p | 86 m | Razdaljina : | 2871 m | Najniza tacka : | 66 m |
| Koordinate zavrsetka : | N 34 4 38 313 / 49 36 965 | Nadmorska visina na z | 87 m | Visinska razlika : | 21 m | Najvisa tacka | 87 m |

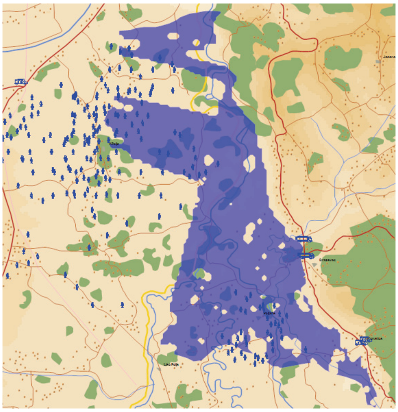
**Слика 1:** Могућности софтвера „Јанус“

У наставку рада објашњено је на који начин је помоћу софтвера „Јанус“ симулирана припрема за извођење операције подршке цивилним властима у случају поплава снагама понтонирског батаљона, односно промена тактичке супозоције (стања на терену) од момента проглашења ванредне ситуације за подручје градске општине Обреновац од стране надлежног општинског органа, до доласка јединица понтонирског батаљона у угрожено подручје у реалном времену. Конкретно помоћу симулационог модела праћена је промена нивоа ризика употребе јединица понтонирског батаљона, односно утицај процене ризика на процес доношења војних одлука од стране команде батаљона, а самим тиме последично се могао пратити и утицај процене ризика на рад команде батаљона.

## 3. ПРИМЕНА СИМУЛАЦИОНОГ СОФТВЕРА „ЈАНУС“ У ПРОЦЕСУ ДОНОШЕЊА ВОЈНИХ ОДЛУКА

Процена ризика путем симулациног модела развијеног у совтверу „Јанус“ вршена је помоћу одређеног броја иницирајућих механизама који узрокују настанак критичних тачака, односно појава које имају потенцијал настанка догађаја са негативним последицама, то јест ризичних догађаја. Симулациони модел приказује и прати промене следећих иницирајућих механизама: број угрожених лица; број неугрожених путева; површина угроженог подручја; и време потребно за долазак јединица у угрожено подручје. На Слици 2 приказана је почетна тактичка супозиција са вредностима иницирајућих механизама, односно приказано је стање угроженог подручја у 17.00 часова, 15.05.2014. године.

Иницирајући механизми: степен попуњености снага за командовање ~ 82%; степен попуњености људством снага за евакуацију и спасавање ~ 97%; степен попуњености материјалним средствима снага за евакуацију и спасавање ~ 100%; број добијених обавештења од органа цивилне власти – 1; време од добијања сигнала за узбуну до готовости јединице ~ минимално утиче на извршење мисије; и време добијања обавештења од органа цивилне власти ~ довољно да се приближно процени стање. Наведене вредности иницирајућих механизама се задају кроз сценарио догађаја (оперативно наређење), или организационом структуром понтонирског батаљона која је коришћена за потребе истраживања; и ове вредности су константне током процеса процене ризика. [3]



Површина угроженог
подручја: 12, 42 km$^2$
Број угрожених лица: 620
Број неугрожених путева:
5 од 7
Време за долазак: 240 min

**Слика 2:** Почетна тактичка супозиција

На основу вредности иницирајућих механизама специјалистички официри у команди батаљона одређују: висину утицаја иницирајућих механизама на процес доношења одлука, односно употребу батаљона; и идентификују ризичне догађаје. У наведеном примеру постоје две критичне тачке: (1) „Велики је број лица за евакуацију неопходна је употреба батаљона на угроженом подручју.“ и (2) „Степен попуњености снага за командовање утиче на извршење мисије.“. Идентификацијом ризичних догађаја уједно се врши и одређивање величине утицаја иницирајућих механизама на употребу батаљона, према раније дефинисаном моделу процене ризика употребе, и за наведени пример утицај је „Мали“.

Потом се за идентификоване ризичне догађаје одређују вредности вероватноће и последица. Специјалистички официри на основу знања и искуства за све идентификоване ризичне догађаје одређују вредности вероватноће и последице догађаја. За наведени пример одређен је степен вероватноће – 1; и степен последица – 2. Затим се помоћу матрице ризика, према раније дефинисаном моделу процене ризика употребе, одређују нивои ризика. По одређивању нивоа ризика на основу може се одредити утицај ризика на употребу понтонирског батаљона, односно да ли су вредности ризика прихватљиве или неприхватљиве, и које су мере за поступање са идентификованим ризицима. У наведеном примеру ниво ризика је „Безначајан“, самим тиме ризик је „Прихватљив“. Ризика нивоа „Безначајан“ нема утицаја на употребу понтонирског батаљона у операцији, али је индикатор потенцијалних ризичних догађаја који могу имати утицај на извршење мисије, и то: „повећање броја угрожених лица“ и „додатно напрезање снага за командовање“. [3]

По истој аналогији објашњавају се и две наредне супозиције након што је команда батаљона донела одлуку о употреби јединица батаљона. Конкретно раде се две процене: у тренутку када су јединице батаљона напустиле касарну и кренуле на угрожено подручје; и у тренутку када су јединице батаљона стигле на угрожено подручје. Супозиција за прву процену ризика дата је на Слици 3, где је приказана маршевска колона јединица батаљона у тренутку изласка на путну комуникацију Шабац – Обреновац, као и промене на угроженом подручју, односно приказано је стање угроженог подручја у 19.45 часова, 15.05.2014. године.

На основу вредности иницирајућих механизама формиране су три критичне тачке: (1) „Повећао се број лица за евакуацију; (2) „Број неугрожених путева на поплављеном подручју утиче на долазак батаљона и евакуацију становништва.“ и (3) „Степен попуњености снага за командовање утиче на извршење мисије.“. Утицај на процес је „Средње велики“, идентификовани су ризични догађаји – степена вероватноће 3, и степена последица 3. Сходно томе ризик је на нивоу „Средње велики“, па самим тиме ризик „Није прихватљив“.

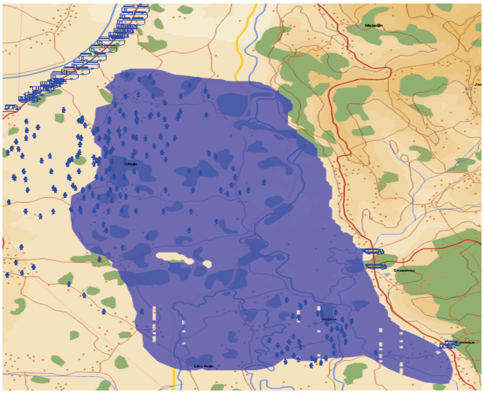
Површина угроженог подручја: 18,94 km$^2$
Број угрожених лица: 940
Број неугрожених путева: 2 од 7
Време за долазак: 80 min

**Слика 3:** Полазак јединица у угрожено подручје

„Средње велики“ ризик умањује оперативне способности понтонирског батаљона и нарушава извршење мисије, за приказану супозицију дефинише се на следећи начин: повећањем броја лица за евакуацију, односно увећањем површине угроженог подручја; смањењем броја неугрожених путева на угроженом подручју; и степеном попуњености снага за командовање, умањују се оперативне способности понтонирског батаљона, и то: способност командовања; способност размештаја и мобилности у зони операције; способност делотворне (ефикасне) употребе снаге; и способност одрживости снага.

Следствено томе степен ризика је својеврстан оријентир команданту батаљона да је неопходно предузимање одређених мера у виду ангажовања додатних ресурса батаљона ради успешног извршења мисије, а уједно и превенције ефеката потенцијалних негативних догађаја при употреби јединица батаљона. [3]

Супозиција за другу процену ризика је приказана на Слици 4 – маршевска колона јединица батаљона по пристизању на циљ, као и новонастале промене на угроженом подручју, односно приказано је стање угроженог подручја у 21.00 часова, 15.05.2014. године.



Површина угроженог подручја: 33,99 km$^2$
Број угрожених лица: 1980
Број неугрожених путева: 0-7
Време за долазак: 0 min

**Слика 4:** Долазак јединица у угрожено подручје

На основу вредности иницирајућих механизама формиране су три критичне тачке: (1) „Услед повећања броја лица за евакуацију неопходна је прекомерна употреба батаљона на угроженом подручју, а увећање површине угроженог подручја проузрокује неизвршење мисије.“; (2) „Број неугрожених путева на угроженом подручју је недовољан за долазак јединица батаљона и проузрокује немогућност евакуације становништва.“; и (3) „Степен попуњености снага за командовање утиче на извршење мисије.“. Утицај на процес је „Средње велики“; идентификовани су ризични догађаји – степена вероватноће 4, и степена последица 5. Сходно томе ризик је нивоа „Веома велики“, па самим тиме ризик „Није прихватљив“. [3]

Ризици нивоа „Веома велики“ узрокују неизвршење мисије понтонирског батаљона у операцији, односно ризици овог нивоа имплицирају да ресурси понтонирског батаљона нису довољни за извршење додељених задатака и да ће сигурно приликом извршења задатака доћи до катастрофалних последица по ресурсе батаљона. Сходно томе неопходно је да командант батаљона хитно нареди прекид даље употребе јединица батаљона, и да о свему тачно, потпуно и благовремено извести своје претпостављене и да их уједно упозори на катастрофалне последице по ресурсе батаљона у случају наставка ангажовања јединица батаљона на извршењу додељених задатака. [3]

## 4. ЗАКЉУЧАК

Употреба војних јединица у ванредним ситуацијама узрокованим елементарним непогодома или техничко-технолошким и другим несрећема, односно извођење операција из домена 3. мисије Војске Србије последње две деценије је учестало. Приликом ангажовања људских и материјалних ресурса војних јединица приоритет је њихова заштита, као и заштита људи, материјалних, културних и других добара који се спасавају. У наведеном контексту доношење најцелисходнијих (правовремених) одлука представља својеврстан изазов за сва лица са правом командовања, односно приоритет ове категорије лица је довођење људских и материјалних ресусрса из небезбедног у безбедно поље рада.

У раду су помоћу симулационог модела процене ризика употребе понтонирског батаљона у поплавама презентоване могућности симулационог софтвера „Јанус“ као својеврсног алата за процену ризика, односно резултати до којих се дошло применом симулација представљају „орјентир“ командантима (командама) у процесу доношења одлука. Битно је нагласити да било који симулациони софтвер (још увек) не може и не сме заменити команданта (команду) у процесима доношење одлука већ се искључиво треба користи као средство предикције и анализе варијанти употребе војних јединица.

На основу свега наведеног може се закључити да: (1) постоји могућност примене симулационог софтвера „Јанус“ у процесу доношења војних одлука; (2) симулациони софтвер „Јанус“ има могућности за праћење промене вредности инцирајућих механизама са аспекта заштите снага; и (3) развијањем одређеног броја сценарија (на основу података из мапе ризика) помоћу симулационог софтвера „Јанус“ може се створити „база ризика“ употребе војних јединица у ванредним ситуацијама, а самим тиме и унапредити постојећи, али и израда нових ситуационих планова употребе војних јединица.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] *Division Simulation et Recherche Operationnelle*. (2011). Centre de Doctrine D`emploi des Forces, Bureau Etude et Developpement Janus, Version 1.0.0

[2] http://www.hidmet.gov.rs./podaci/hidro_pov_godisnjaci/2014.pdf

[3] Ковачевић, Н. (2021). *Модел процене ризика употребе понтонирских јединица у ванредним ситуацијама*. докторска дисертација. Војна академија Универзитет одбране у Београду

[4] Упутство за оперативно планирање и рад команди у Војсци Србије – привремено. (2017). МО, ГШ ВС, Управа за планирање и развој (Ј-5)

[5] Закон о смањењу ризика од катастрофа и управљању ванредним ситуацијама. (2018). Службени гласник РС број 87/2018

# СОФТВЕР ЗА ОПЕРАЦИОНА ИСТРАЖИВАЊА

# OPERATIONAL RESEARCH SOFTWARE

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# MATHEMATICAL OPTIMIZATION USING CBC SOLVER IN LUA PROGRAMMING LANGUAGE

MILAN STANOJEVIĆ[1], BOGDANA STANOJEVIĆ[2]

[1] University of Belgrade – Faculty of Organizational Sciences, milan.stanojevic@fon.bg.ac.rs
[2] Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts, bgdnpop@mi.sanu.ac.rs

***Abstract:*** *In this paper we present our new developed Lua programming language library that enables modelling and solving mixed integer linear mathematical optimization problems (MILP) with the* Coin-or branch and cut *solver CBC. Its main purpose is to simplify the model formulation for CBC, and to provide a framework for developing algorithms written in Lua that use the solver within more complex procedures.*

***Keywords:*** *Mixed integer programming, GMPL language, Dynamic callable library.*

## 1. INTRODUCTION

Mathematical optimization software is an important tool for computational mathematics; and scientific programming languages faster get better results if they incorporate such software. In our previous paper [3] presented at SYM-OP-IS 2020, we discussed the characteristics that nowadays scientific programming languages (SPL) are suppose to have. We suggested the programming language Lua [6] for such a purpose. Although Lua has a small footprint (i.e. the size of its interpreter is only 600 kB), it has many features that the modern SPLs have. Among these features it is worth mentioning the expressiveness, dynamic typing, simplicity, speed and extensibility. Most of all, Lua is freely available as an open source project.

Lua interpreter itself is written in C programming language, so its support for integration with C programs is quite natural and intuitive. To combine Lua and C one can either embed Lua into C programs, thus extending it with advanced syntax capabilities; or expand Lua with libraries written in C, thus speeding up critical complex computation.

Lua does not incorporate in the language all the desirable possibilities of SPLs like mathematical formulas and matrices manipulation. It rather uses external libraries that extend the language capabilities. And here the Lua's extensibility shines. There are several available libraries that provide some SPL capabilities to Lua. NumLua and Torch are two of them. NumLua is focused on complex numbers, matrices computation, statistics, random numbers generation; while Torch, in addition is directed to neural networks, image manipulation, graphical representation and some rudimentary optimization algorithms.

## 2. OUR GOAL

Our general goal is to add mathematical modelling and an advanced optimization capability to Lua language. The first step, presented in [3], was to develop a wrapper around AMPL® API functions that enables using all the functionalities of this advanced modelling and optimization tool within Lua language. The package *ampllua* enables the use of AMPL's high level mathematical modelling language, and tens of both commercial and open source solvers. The downside of this solution is that in order to use the library, one must have valid licenses for both modelling environment and commercial solvers. As announced in [3], the next step is to create a library that enables the use of an open source solver in Lua with a decent modelling and model manipulation capabilities.

Mixed integer programming (MIP) open source solvers, beside their flexibility of use and lack of cost, lag behind their commercial counterparts considering performance. Figure 1 shows the speed span of several commercial (red bars) and open source (blue bars) MIP solvers. The numerical values used in Figure 1 are recalled from [2]. Meindl & Templ [2] explained how the data was collected. Briefly, the maximal running time for each solver was limited to 1h; and the times were scaled such that the running time for GUROBI® - which was the fastest solver in the experiment - was set to 1. Smaller values are better.

GUROBI®, XPRESS® and CPLEX® are well known high performance commercial MIP solvers that are constantly fine-tuned and improved by building in the state of art techniques and algorithms. On the other hand CBC, LP_SOLVE and GLPK are mature and reliable open source solvers, but the effort put in their improvement is a way smaller comparing to commercial ones.

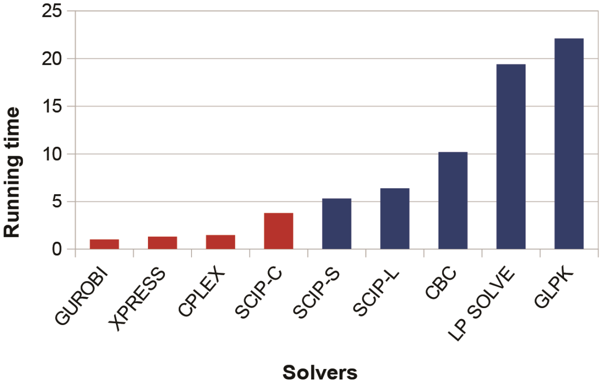


**Figure 1:** Speed comparison of commercial and open source solvers

Solver SCIP can solve constraint programming, MIP and mixed integer nonlinear programming (MINLP) problems using branch-cut-and-price method, but uses an external LP solver. In the benchmark represented in Figure 1, SCIP used CPLEX (-C), CLP (-L) and SoPlex (-S) LP solvers. SCIP-C can be considered as a commercial solver since it needs a valid license for CPLEX. SCIP itself switched to open source license at the end of 2022. Before that its use was free for academic purposes, but it was restricted for commercial firms, so it was not an option at the moment when this research started.

Finally, we have chosen CBC for our project since it was the fastest open source solver at the time. In what follows we present our new developed library *cbclua* for MIP optimization within Lua programming language. For a basic utilization of our new proposed library (model formulation, solving and results representation) nothing but very basic knowledge of Lua is necessary.

## 3. THE CBCLUA LIBRARY

CBC is a project of COIN-OR Foundation [4] that supports open source software for the operations research community. COIN-OR stands for Computational Infrastructure for Operations Research. It is written in C++ and issued under Eclipse Public License [5]. COIN-OR successfully supports researchers to develop mathematical applications. The COIN-OR includes tools for linear programming, non-linear programming, mixed integer programming, and algebraic modelling environments.

CBC API is relatively basic. It enables creation of a model, input of data (parameters), querying the model content, solving, and extracting the current solution together with its value. The routines for changing the model parameters are limited to update of lower and upper bounds of variables and constraints, as well as changing objective function coefficients.

The model creation itself is covered only with basic functions: adding columns (variables) and rows (constraints) to the LP problem; and defining the sense of the objective function and nature of variables (continuous/integer). Also, several solver options (allowable gaps, execution time limit, maximum number of nodes in the search tree, log level etc.) can be handled through API functions. Finally, the API enables the export and import of a problem into and from files in IBM's MPS and CPLEX's LP format.

### 3.1. The CBC API wrapper for Lua

The CBC API wrapper was developed as a dynamic Lua library, called *cbclua,* which can be imported and used within any Lua program.

For the majority of CBC API functionalities, corresponding Lua functions are developed. In the wrapper creation the attention was put on the simplicity of input data structure with accent on native Lua collection structures – tables.

To show how *cbclua* library works, we use as example the Diet Problem, taken from [1] and adapted. Diet Problem is a standard optimization problem aiming to minimize the food cost and fulfil some demands on nutrients, in the same time. The data for the example are presented in Figure 2 in AMPL data format.

```
data;

# food
param :F:  c     fl   fu :=
    BEEF  3.19    2   10
    CHKN  2.59    2   10
    FISH  2.29    2   10
    BRED  2.89    2   10
    MILK  1.89    2   10
    TOMT  1.99    2   10
    SPGT  1.99    2   10
    CHES  2.49    2   10
;

# nutrients
param :N:    nl    nu :=
     A     700 20000
     C     700 20000
    B1     700 20000
    B2     700 20000
    NA       0 50000
   CAL   16000 24000
;
```

```
# content of nutrients in food
param a (tr):
      A  C B1 B2   NA CAL :=
BEEF 60 20 10 15  938 295
CHKN  8  0 20 20 2180 770
FISH  8 10 15 10  945 440
BRED 40 40 35 10  278 430
MILK 15 35 15 15 1182 315
TOMT 70 30 15 15  896 400
SPGT 25 50 25 15 1329 370
CHES 60 20 15 10 1397 450
;

end;
```

**Figure 2:** File diet.dat that contains the parameters of a Diet problem

The notation used in the example is explained below:

*fl*, *fu* – represent the lower and upper bounds for the available food amount,
*c* – represent the cost of food per unit,
*nl*, *nu* – represent the lower and upper bounds for nutrients consumption,
*a* – represent the content of the nutrients in food.

In order to build the model in Lua, we construct tables for each parameter, having the names of foods and nutrients as keys. The Lua code that defines the parameters *c* and *a* is presented in Figure 3. The code is self explanatory.

Having the data defined in the file *dietdat.lua*, Lua code inserted in Figure 4 defines the model, solves the problem and prints the result.

```
local c = {
    BEEF = 3.19,
    CHKN = 2.59,
    FISH = 2.29,
    BRED = 2.89,
    MILK = 1.89,
    TOMT = 1.99,
    SPGT = 1.99,
    CHES = 2.49
}
...
local a = {
    A = {BEEF =  60, CHKN =    8, FISH =   8, BRED =  40, MILK =   15, TOMT =  70, SPGT =   25, CHES =   60},
    C = {BEEF =  20, CHKN =    0, FISH =  10, BRED =  40, MILK =   35, TOMT =  30, SPGT =   50, CHES =   20},
   B1 = {BEEF =  10, CHKN =   20, FISH =  15, BRED =  35, MILK =   15, TOMT =  15, SPGT =   25, CHES =   15},
   B2 = {BEEF =  15, CHKN =   20, FISH =  10, BRED =  10, MILK =   15, TOMT =  15, SPGT =   15, CHES =   10},
   NA = {BEEF = 938, CHKN = 2180, FISH = 945, BRED = 278, MILK = 1182, TOMT = 896, SPGT = 1329, CHES = 1397},
  CAL = {BEEF = 295, CHKN =  770, FISH = 440, BRED = 430, MILK =  315, TOMT = 400, SPGT =  370, CHES =  450}

}
```

**Figure 3:** Example of defining parameters: vector *c* and matrix *a* in Lua (part of *dietdat.lua* file)

```
 1  local cbc = require "cbclua"
 2  local dat = require "dietdat"
 3  local m = cbc.newModel()
 4  for i in pairs(dat.c) do
 5      m:addCol(i, dat.fl[i], dat.fu[i], dat.c[i])
 6  end
 7  for i in pairs(dat.nl) do
 8      m:addRow(i, dat.nl[i], dat.nu[i], dat.a[i])
 9  end
10  m:setObjSense("min")
11  m:setObjName("Cost")
12  m:setLogLevel(0)
13  io.write("Optimization status: ")
14  print(m:solve())
15  m.printsol(m:solution())
```

**Figure 4:** Lua code that constructs the model, solves the problem and prints the result

A brief explanation of the code is provided line by line: the library is read in (in Line 1), the input data from the file *dietdat.lua* is read in (2), the model is initialized (3), the variables and constraints are defined (4-9), the sense of the objective function is set to "min" (10), the objective function is named "Cost" (11), the solver is prevented to write output during optimization (12), the header of the output is written (13), the solver is invoked and the optimization status is displayed (14), the solution and objective function value are printed (15). The output of the program is presented in Figure 5, i.e. the optimal amounts of certain kinds of food and the value of the objective function (named "Cost" in Line 11 of the code) are displayed.

```
Optimization status: -1 optimal
FISH    2
TOMT    10
CHKN    2
Cost    118.05940323956
BEEF    5.3606138107417
CHES    2
MILK    10
BRED    10
SPGT    9.306052855925
```

**Figure 5:** Output of the optimization process

### 3.2. Adding modelling capabilities

The GLPK (GNU Linear Programming Kit) is a well-known open source package for solving large-scale linear programming (LP), MIP, and other related problems. It is a set of routines organized as a callable library written in ANSI C. For mathematical modelling it uses the GMPL (GNU MathProg modelling language).

Defining an optimization problem by forming a constraint matrix is convenient for dense matrices, but is not suitable for sparse ones. For such models, a mathematical modelling language is more appropriate to be used. In *cbclua* library that ability is introduced by incorporating GMPL. We opted for using GMPL due to its syntax which is very similar to AMPL, and its quality of being part of an open source package. GMPL is in fact an open source version of AMPL. It follows AMPL syntax and implements all the programming techniques AMPL has regarding linear MIP modelling.

Combining the CBC solver with GLPK modelling environment enables: (i) to define complex mathematical models and insert data in GMPL format; (ii) to read in both the model and the data into a CBC mode within Lua code; and finally (iii) to perform the optimization and extract the results.

Following Diet example, having the *diet.dat* file (Figure 2), and using GMPL model (Figure 6) in file *diet.mod*, the Lua program presented in Figure 7 solves the problem and displays the optimization status.

```
set F;          # Food
set N;          # Nutrients
# Parameters:
param c{F} > 0; # Cost of food
param fl{F} >= 0;
param fu{j in F} >= fl[j];
param nl{N} >= 0;
param nu{i in N} >= nl[i];
param a{N,F} >= 0;
# Variables:
var x{j in F} >= fl[j], <= fu[j];
# Goal function:
minimize Cost : sum {j in F} c[j] * x[j];
# Constraints:
subject to
    Enough {i in N}:
        nl[i] <= sum {j in F} a[i,j] * x[j] <= nu[i];
end;
```

**Figure 6:** diet.mod GMPL file to be used in Lua

```
1  local cbc = require "cbclua"
2  local m = cbc.newModel()
3  m:readGmpl("diet.mod", "diet.dat")
4  print(m:solve())
```

**Figure 7:** Lua program that uses *cbclua* library and the GMPL diet.mod to solve the Diet Problem

The explanations line by line of the code presented in Figure 7 are as follows: the library *cbclua* is read in (in Line 1), the new model is created (2), the model and data files are read in (3), the problem is solved and the optimization status is printed (4).

The access to the model objects' (variables, rows) values within Lua is natural for Lua code. For example, the code showed in Figure 8 prints the optimal values of the goal function and variables separately. The names *Cost* and *x* used in the code in Figure 8 for printing are defined in *diet.mod* file as goal function and variables names.

```
5  local sol = m:solution()
6  print(“Optimal solution value: “ .. sol.Cost)
7  for i,j in pairs(sol.x) do
8      print(i,j)
9  end
```

**Figure 8:** Lua program that extracts and prints separately the optimal value and solutions

## 4. COMPARATIVE ANALYSIS

Table 1 reports the running time (in seconds) needed by two commercial and two open-source solvers to solve three instances of Asymmetric TSP problem taken from the well known library

TSPLIB. CBC solver was run using the developed Lua interface, while the others were run from the available modelling environments.

**Table 1: Solvers comparison based on their running times (s)**

| *TSPLIB instances* | *n* | Gurobi | CPLEX | CBC | GLPK |
|---|---|---|---|---|---|
| ftv33 | 34 | 0.51 | 0.65 | 1.30 | 0.57 |
| ftv47 | 48 | 5.88 | 9.69 | 66.66 | 30.85 |
| ftv55 | 56 | 8.05 | 4.23 | 37.43 | 108.45 |
| | Total: | 14.44 | 14.57 | 105.39 | 139.87 |

The values reported on the bottom row of Table 1 properly illustrate the performances of the compared solvers: the commercial solvers are much better then the free ones; and CBC solver outperforms the GLPK solver. However, some anomalies can be noticed analysing the results obtained for each instance separately: Gurobi needed almost double time than CPLEX to solve *ftv55*, and vice versa for *ftv47* instance; GLPK behaved better than CBC on instance *ftv47*; and GLPK outperforms CPLEX when solving the instance *ftv33*. However, these anomalies well illustrate the capriciousness of combinatorial optimization problems as well as the dependence of solving algorithms on their tuning parameters (all used solvers were run with their default settings).

## 5. CONCLUSION

We developed a library that enables the use of the CBC solver within Lua code, thus facilitating the solving of MIP problems with unbounded number of variables using Lua. In addition, this library incorporates the MathProg language from GLPK within Lua. We aimed to improve Lua's performances toward mathematical optimization.

In our future research we will focus on incorporating the access to an open-source non-linear solver through Lua libraries. The main difficulty that has to be overcome is related to reading in the mathematical model. An algebraic language is desirable to be developed in order to permit a very general input form for non-linear expressions that describe the objective functions and constraints.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work was partly supported by the Serbian Ministry of Science, Technological Development and Innovation through Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts, and Faculty of Organizational Sciences, University of Belgrade.

## REFERENCES

[1] Fourer, R., Gay, D. & Kernigan, B. (2002). AMPL - A Modeling Language for Mathematical Programming, Duxbury Pr, USA.

[1] Meindl, B. & Templ, M. (2012). Analysis of commercial and free and open source solvers for linear optimization problems.

[2] Stanojević, M. & Stanojević, B. (2020). Mathematical optimization in Lua programming language environment. In: Proceedings of XLVII International Symposium on Operational research - SYM-OP-IS 2020, Saobraćajni fakultet, Belgrade.

[3] COIN-OR: Computational Infrastructure for Operations Research - Open-source software for the Operations Research Community, www.coin-or.org.

[4] Eclipse Public License 2.0, The Eclipse Foundation, https://www.eclipse.org/legal/epl-2.0/.

[5] The programming language Lua, https://www.lua.org

# СТАТИСТИЧКИ МОДЕЛИ

# STATISTICAL MODELS

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# STATISTICAL CONSIDERATIONS ABOUT MODELING PERFORMANCE OF EXACT SOLVERS ON PROBLEM INSTANCES OF $P||C_{MAX}$

MARIA BRACKIN[1] AND TATJANA JAKŠIĆ KRÜGER[2]

[1] Mohammed VI Polytechnic University, Rabat, brackinmaria@gmail.com
[2] Mathematical Institute, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, tatjana@mi.sanu.ac.rs

---

***Abstract:*** *When assessing a new algorithmic solution for an optimization problem, a set of problem instances is required on which the proposed algorithms may be compared against existing state-of-the art solvers. To achieve proper evaluation, we must identify key predictors of hardness and performance, i.e. an algorithm's ability to produce an optimal or best-known solution for a given problem instance. Considering the scheduling problem* $P||C_{max}$*, we find that the existing literature focuses on problem size and the ratio of tasks to processors. We suggest that this approach omits other problem features that may plausibly influence hardness and performance. Furthermore, existing methods do not systematically assess the influence of problem features in algorithm tests by considering the full range of values and all combinations of these values. Inspired by methods in the social sciences, we outline an experimental approach that considers a wider range of hardness and performance predictors over all conditions.*

***Keywords:*** *combinatorial optimization, scheduling independent jobs to identical machines, benchmark instances, problem hardness, problem features, experimental design*

---

## 1. INTRODUCTION

Modelling the performance of optimization algorithms is an integral step in tackling optimization problems [7,11]. Algorithm performance is assessed through the use of *empirical hardness models* [9], which build upon collected runtimes of the chosen algorithm on seen problem instances to predict runtime on unseen (novel) instances [7]. In order to properly asses the outcome of such performance tests, the model must consider different properties (*features*) of the problems attempted in hardness models.

Typical problem features, such as problem size, are conventionally assumed to cause an exponential rise in runtime [1]. However, the literature on problem hardness and algorithm performance suggests that the influence of such features is not straightforward [7]. Moreover, the assessment of problem properties is often limited to a narrow set of features, whereas some authors find promising approaches with non-conventional features; for example, Crisan et al. (2021) [1] utilize the coefficient of variation and regularity index to investigate hardness of TSP instances.

We propose borrowing an approach from the social sciences: randomized experiments. We describe how creating an experiment, in which problem features are systematically and exhaustively tested, can improve understanding of problem hardness and algorithm performance. This approach includes two core principles: the inclusion of all plausibly relevant problem features, and the assessment of all combinations of these features via experimental conditions. Because we are not obligated to deal with only one type of feature, we define an expanded set of *structural features* [1] considered to be important; we also suggest a significantly increased number of runs over the space of possible experimental conditions.

After identifying the problem features of interest, we present linear regression models to assess the contribution of these features to problem hardness and algorithm performance. We assess three dependent variables: (1) whether or not a problem instance is solved optimally in a given cutoff time (binary outcome), (2) the proportion of problem instances solved optimally, and (3) the runtime of an algorithm (difficulty).

We outline our approach with respect to the scheduling of independent jobs to identical machines P||$C_{max}$ [4]. Specifically, we address the question of determining problem properties that contribute to the hardness and performance of an exact solver in [10] as well as other exact and heuristic algorithms for P||$C_{max}$ presented in the literature [2,6,10]. All algorithms are compared against existing or well-known solvers previously published; thus, it is valuable to observe which problem instances have been difficult and if the conclusions have changed over time.

The paper is organized in the following way. After a brief description of P||$C_{max}$ instances, we review popular benchmark sets. In Section 3, we define problem features and outline our proposed experimental approach. In Section 4 we provide our conclusions and suggestions for future work.

## 2. RELATED WORK

P||$C_{max}$ originated as a scheduling problem on a computer, but due to its general form and simple formulation, it is of interest in both academic and industrial settings as a subproblem of other optimization problems. Although P||$C_{max}$ has been intensively studied in the literature, producing the most up-to-date solver is an ongoing task.

### 2.1. Description of P||$C_{max}$ problem instances

A problem is usually defined via size parameters: the number of tasks $n$ and number of machines $m$. For example, a problem instance might be described in an input file like this:

20
10 (5)
42 68 35 1 70 25 79 59 63 65 6 46 82 28 62 92 96 43 28 37

where $n = 20, m = 10$, and the third line contains processing times for $n$ independent tasks ($L = \{, l - 1., \dots, l_n\}$). The processing times (tasks' length) follow a predefined distribution which we denote as *class*. We introduce the parameter *index* to indicate the difference between problem instances of the same size. Consequently, the problem instance uniqueness is defined by the following tuple: $(n, m, index, class)$.

The utilization of different problem instances is mainly motivated by the following research question: how does problem size influence hardness of an instance? A new research avenue investigates the ratio $\frac{n}{m}$, as it was proposed by Haouari et al. (2006) [6]. In what follows, we review papers that introduce ratio $\frac{n}{m}$ as a major predictor of the instance difficulty, finding that the answer is not straightforward.

### 2.2. Literature Review

The study of problem instance hardness in the academic literature focuses primarily on problem size parameters. As with the satisfiability problem and phase transition in hardness, researchers have aimed to find key values for a phase change in scheduling problems related to changes in the ratio $\frac{n}{k}$. Ideally, a relationship between $n$ and $m$ will be determined such that easy and hard problem instances are consistently identified and distinguished.

There are various benchmark sets in the literature for testing and comparing optimization algorithms. Five well known problem sets are listed chronologically in Table 1. Dell'Amico and Martello instances (DAM) are the most known benchmark set in the literature, often utilized for comparing exact solution algorithms [2]. The authors suggest five distinctive classes where processing times conform to the following distributions: (1) uniform in range [1,100]; (2) uniform in range [20,100]; (3) uniform in range [50,100]; (4) normal such that $\mathcal{N}(100,50)$; (5) normal such that $\mathcal{N}(100,20)$. They tested their B&B algorithm when $n \in [10,10000]$ and $m \in \{2,3,5,10,15\}$ and solved almost all except small-sized instances: $(25,10)$, $(50,10)$, $(50,15)$ from class 3 and class 5. Additionally, perfect packing instances were proposed, for which the optimal solution value is equal to $\sum_{i=1}^{n} \frac{l_i}{m}$ - as hard P||$C_{max}$ instances. The size parameters were the same as previously outlined, while processing times were controlled by parameter $Q$ . Results in Table 3 of their paper indicate interactions between parameters $n$ , $m$ and $Q$ ; however, these interactions have not been further analyzed. The cases where not all instances are solved are for "small"-sized instances ($n \leq 500$) while the hardest instances have been reported for larger $Q$ . The B&B algorithm became very important as a method of differentiating easy from "difficult" instances as well as a method of determining the solution's quality [3].

**Table 1:** Known P||$C_{max}$ benchmarks sets from the literature.

| 2019. | Publication | Abbreviation |
|---|---|---|
| 1 | Dell Amico and Martello [2] | DAM |
| 2 | E1, E2, E3 and E4 instances [5] | E-inst |
| 3 | França-Frangioni instances[3] | FF |
| 4 | Haouri and Jemmali [6] | HJ |
| 5 | Mrad and Souayah [10] | MS |

França - Frangioni instances have been considered difficult due to large values for $n$ . The FF set consists of 780 files. Processing times may follow two types of distributions: uniform (U) and non-uniform binomial distribution (NU) such that task lengths vary between [10,100], [1,1000], [1, 10000] and $m \in \{5, 10, 25\}$. (https://site.unibo.it/operations-research/en/research/library-of-codes-and-instances-1.) The authors recognize that for the considered algorithms, UNIFORM instances are "easy", i.e. solved to optimality in a short amount of time. In addition, they report that as the range of processing times grows, so do the instances' hardness. In Frangioni et al. (2004) [3], the authors are the first ones in the literature to recognize the ratio $\frac{n}{m}$ as an important indicator of instances hardness. On the complete set FF, the authors report that instances $2 < \frac{n}{m} \leq 10$ are the most difficult. The authors utilize two more benchmark sets: BINPACK and TRIPLET instances (see http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/ info.html). The former consists of easy and hard instances, while the latter set consists only of hard instances.

In Haouari et al. (2006) [6], the authors test their algorithm on different benchmark sets from Dell'Amico and Martello (1995) [2]. Perfect packing instances are solved to optimality, which categorizes them as "easy" for their B&B algorithm. Next, on the set of 1900 instances, $n$ takes values between 10 and 10000, while $m \in \{3, 5, 10, 15\}$. For each combination $(n, m)$, 10 problem instances are randomly generated, and the cutoff time is set to 1200 seconds. Results show that most instances are solved to optimality, while 5 instances for which $(n, m) = (50,15)$ have not been solved for the given CPU time. Next, the authors in [6] test their algorithm on the FF instances. Out of 780, exactly 21 were not solved. The authors conclude that all considered instances are too easy, thus they have proposed a new set of problem instances which we denote as HJ instances. The number of machines is fixed and set to $\frac{2n}{5}$ and $l_i \in U\left[\frac{n}{5}, \frac{n}{2}\right]$. For each $n \in \{20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 150, 200\}$, a set of 20 instances is generated. The instances have shown to be more challenging, and they are used in the following papers as difficult.

In Lawrinenko (2017) [8], the author presented several solution methods for the benchmark instances. In case of the FF instances, the WL algorithm strongly depends on the $\frac{n}{m}$ values. For

$\frac{n}{m} \in \{2,4,5\}$, the easiest instances are when $\frac{n}{m} = 2$, as performance deteriorates for larger $\frac{n}{m}$. Similarly, in case of DAM instances, those which satisfy $\frac{n}{m} \leq 2.5$ are more easily solved. However, both Dell'Amico and Martello (1995) [2] and Haouari et al. (2006) [6] report that small-sized instances (n=50, m=15) were not solved within 1200 sec.

In Mrad and Souayah (2018) [11], the authors introduce an exact algorithm based on an arc-flow model. Until recently, the algorithm was the state-of-the-art exact method for $P||C_{max}$. This algorithm was tested on HJ and DAM benchmark sets, as well as on two new additional classes for DAM instances. Class 6 contains tasks where $l_i \in U[n,4n]$, and class 7 presents processing times $l_i$ that follow a normal distribution $\mathcal{N}(4n,n)$. The results show that HJ instances are easy for the exact solver. Unlike DAM instances in literature, Mrad and Souayah [11] generated new instances such that they reflect the ratio $\frac{n}{m} = \{2,2.25,2.5,2.75,3\}$. The first 5 classes of problem were easy to solve, however, class 6 and class 7 seemed to be difficult with regard to runtime and the number of solved instances per problem size. Additionally, the most difficult instances reported for DAM instances were not tackled by the authors [11].

What we have observed in the review literature is the lack of a systematic approach to the executions that should be conducted in order to determine the influence of problems size parameters as well as other structural features. In the following section, we present structural features of the $P||C_{max}$ problem that are potential additional predictors of difficulty of the considered problem set.

## 3. PROBLEM FEATURES AND METHODOLOGY

In this section we describe the problem features, experimental approach and statistical models we suggest to estimate the most influential features for key outcomes. Identification of relevant problem features is essential for estimation of the performance of optimization algorithms. In our proposed method, we seek to meet both goals described in the introduction: the inclusion of all plausibly relevant problem features, and the assessment of all combinations of these features through experimental conditions.

In Table 2, we list all the problem features first presented in Maleš et al. (2023)[10] and included in our proposed models. Classically, a problem is defined by at least three features: $n$, $m$ and $class$ (1-3 in Table 2), where $class$ is a specific distribution of task length, as presented in Section 2. We also include $\frac{n}{m}$ in line with the academic literature. Additionally, we compute features based on generation of problem instances: average length ($av.length$), median value ($median$), standard deviation ($std.dev$), maximum length ($\max$), minimum length ($\min$), range ($range$), and number of distinct elements ($k$) (items 4-10). These features are likely to influence difficulty and algorithm performance. We employ a set of problem features used that are quickly measurable [11].

The purpose of testing algorithms on a series of problems with such features is to assess their performance on important outcomes. We have identified three different outcomes as indicators of problem hardness as well as of a good algorithm's performance: $runtime$, $CPLEXstatus$ and $prop_{opt}$ (items 13-15). In this study, each of these outcomes is assessed separately as a dependent variable in a statistical model.

Through artificial generation of problem instances, it is possible to generate problem instances with the same dimension and different hardness, here defined as $runtime$. For instance, two problems with the same values of $n$, $m$ and $class$ will take a different amount of time to be solved (if solved at all). The difference in runtime will influence whether a problem is solved to optimality.

We determine whether a problem is solved optimally through assignment of $CPLEXstatus$ (1 or 0) based on a cutoff time (1200 seconds) above which a solution, while possible, is insufficiently fast. For each subtype and class $(n, m, class)$, our dataset contains 10 individual problem instances which may include some optimally and some non-optimally solved (or unsolved) instances. Therefore we also evaluate $prop_{opt}$, the proportion of problem instances solved optimally.

**Table 2:** List of features used in difficulty estimation module for P||C$_{max}$

| | Feature notation | Definition (predictors) |
|---|---|---|
| 1. | $class$ | Probability distribution for elements of set $L$ |
| 2. | $n$ | Cardinality of set $L$ i.e. number of tasks |
| 3. | $m$ | Number of machines |
| 4. | $av.length$ | Average processing time |
| 5. | $median$ | Median processing time |
| 6. | $std.dev$ | Standard deviation of set $L$ |
| 7. | $max$ | Maximum processing time |
| 8. | $min$ | Minimum processing time |
| 9. | $range$ | $max - min$ |
| 10. | $k$ | Number of different task lengths in set $L$ |
| 11. | $\frac{n}{m}$ | Average number of tasks per machine |
| 12. | $index$ | Index of an instance within group of instances with the same problem size |
| 13. | $runtime$ | Execution time |
| 14. | $CPLEXstatus$ | Status report if objective value is found |
| 15. | $prop_{opt}$ | Proportion of problem instances solved optimally per problem |

### 3.1. Experimental conditions

Having defined and included all plausibly relevant problem features, we now define the experimental conditions. The goal of an experimental approach is to systematically manipulate problem features to cover the space of all possible problems. In the social sciences, this involves exposing participants to a certain set of experimental stimuli; here, we generate problem instances based on a set of inputs.

Our experimental conditions will be combinations of $n$, $m$ and $class$. The existing dataset in Maleš et al. (2023) [11] contains several combinations of $n$ and $m$, but leaves large gaps in possible values for these features. In order to determine the individual contributions of $n$, $m$ and $\frac{n}{m}$ to an outcome, we must generate a near-continuous range of values for each feature and permute all combinations of these values.

For $n$ and $m$, we propose a range of values between 0 and 200 by units of 5. Therefore, $\frac{n}{m}$ will also range between 0 and 200. For example, these two conditions vary by $n$ only, which results in different values of $\frac{n}{m}$:

- $class = 1 \quad n = 20 \quad m = 10 \quad \frac{n}{m} = 2$
- $class = 1 \quad n = 25 \quad m = 10 \quad \frac{n}{m} = 2.5$

With a total of 40 values for each of $n$ and $m$, the combination of possible values is 1,600. Over 7 classes of problem, we would have 11,200 conditions in our experiment.

### 3.2. Linear Regression Models

The problem features we describe in Table 2 can be reasonably expected to contribute to optimal solving of problems and to hardness of problems. Parameters $n$ , $\frac{n}{m}$, $av.lengt$ , $\max□$, and $k$ , are expected to increase difficulty and decrease the likelihood of optimal solutions. By contrast, the number of machines $m$ can be expected to decrease difficulty and increase optimal solutions.

We propose three regression models to assess the influence of problem features on the outcomes of interest:

$$CPLEXstatus = \alpha + \beta_1 class + \frac{\beta_2 n \beta_3 m \beta_4 n}{m} + \beta_5 av.length + \beta_6\, median + \beta_7\, std.dev + \beta_8 max + \beta_9 min + \beta_{10} range + \beta_{11} k + \epsilon$$

$$runtime = \alpha + \beta_1 class + \frac{\beta_2 n \beta_3 m \beta_4 n}{m} + \beta_5 av.length + \beta_6\, median + \beta_7\, std.dev + \beta_8 max + \beta_9 min + \beta_{10} range + \beta_{11} k + \epsilon$$

$$prop_{opt} = \alpha + \beta_1 class + \frac{\beta_2 n \beta_3 m \beta_4 n}{m} + \beta_5 av.length + \beta_6\, median + \beta_7\, std.dev + \beta_8 max + \beta_9 min + \beta_{10} range + \beta_{11} k + \epsilon$$

The models include interaction terms between $n$ , $m$ and $\frac{n}{m}$ as these parameters influence one another. Note that the proportion of problems solved optimally ( $【prop】_{opt})$ is derived from whether or not a problem is solved optimally ($CPLEXstatus)$ ; the third model considers average values for each experimental condition with a continuous (rather than logistic) dependent variable.

### 3.3. Power Analysis

The final step in our experimental design is to determine the number of observations necessary to run the statistical analysis outlined above. In order to be able to detect the effect of problem features on the outcomes of interest, we require a sufficient number of data points.

The effect size in power tests of linear regression is the difference between the fit of two models, typically a full model with all parameters and a reduced (e.g. random variance) model. The $f^2$ statistic is defined as follows, where $R^2$ is the statistical fit of the two models being compared:

$$\frac{R^2_{full} - R^2_{reduced}}{1 - R^2_{full}}$$

As inputs to the power calculation, we include the number of parameters, statistical significance, statistical power, and minimum detectable effect as defined above. Including interaction terms, the number of model parameters in our regression models is 15. In line with convention, we assume a significance level of $\alpha = 0.05$ and $power = 0.80$ . We use an $f^2$ from Cohen (1988) where a small effect has a value of $f^2 = 0.02$ . With these assumptions, to detect a small effect of problem features on CPLEXstatus, $prop_{opt}$ and $runtime$ , we would require 953 observations for each of our 11,200 conditions, for a total of 10,673,600 observations.

## 4. FUTURE WORK

In future work, the first task will be to generate large datasets of algorithm performance based on the experimental approach outlined above. With a large (> 10 million) number of datapoints, this will be a computationally intensive task. Second, these datasets will be analyzed statistically using a variety of methods: linear regression models as well as Machine Learning techniques. Interesting similarities and differences may emerge when comparing these techniques, elucidating the benefits and limitations of the experimental method as a complementary approach.

Alongside these empirical tasks, we will work on the conceptual development of the concepts of hardness and performance. For instance, we can challenge or justify cut-off points for the determination of optimal solving within a given time frame. We can also consider introducing the results of SLACK and LPTUB heuristics as predictors for hardness, further expanding the list of predictors of algorithm performance.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovations of Republic of Serbia agreements nos. 451-03-47/2023-01/200029 and 451-03-47/2023-01/ 200122.

## REFERENCES

[1] Cerasela Crisan, G., Nechita, E., and Simian. D. On randomness and structure in euclidean TSP instances: A study with heuristic methods. IEEE Access, 9:5312–5331, 2021.

[2] Dell'Amico, M., & Martello, S. (1995). Optimal scheduling of tasks on identical parallel processors. ORSA Journal on Computing, 7(2), 191-200.

[3] Frangioni, A., Necciari, E. and Scutella, M. G. A multi-exchange neighbor-hood for minimum makespan parallel machine scheduling problems. J. Comb. Optim., 8(2):195–220, 2004.

[4] Garey, M. R. and Johnson, D. S. Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. W. H. Freeman and Company, 1979.

[5] Gupta, J. and Ruiz-Torres, A. J. A listfit heuristic for minimizing makespan on identical parallel machines. Production Planning & Control, 12(1):28–36, 2001.

[6] Haouari, M., Gharbi, A. and Jemmali, M. Tight bounds for the identical parallel machine scheduling problem. Int Trans Oper Res, 13(6):529–548, 2006.

[7] Hutter, F., Xu, L,. Hoos, H. and Leyton-Brown, K. Algorithm runtime prediction: Methods & evaluation. Artificial Intelligence, 206:79–111, 2014.

[8] Lawrinenko, A. Identical parallel machine scheduling problems: structural patterns, bounding techniques and solution procedures. PhD thesis, 2017.

[9] Leyton-Brown, K., Nudelman, E. and Shoham, Y. Empirical hardness models: Methodology and a case study on combinatorial auctions. Journal of the ACM, 56(4):1–52, 2009.

[10] Maleš, U., et al. Controlling the difficulty of combinatorial optimization problems for fair proof-of-useful-work-based blockchain consensus protocol. Symmetry, 15(1):140, 2023.

[11] Mrad, M. and Souayah, N. An arc-flow model for the makespan minimization problem on identical parallel machines. IEEE Access, 6:5300–5307, 2018.

[12] Smith-Miles, K. and Lopes, L. Measuring instance difficulty for combinatorial optimization problems. Computers & Operations Research, 39(5):875–889, 2012

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРИМЕНА МЕТОДЕ СКОРОВА СКЛОНОСТИ У КВАЗИ-ЕКСПЕРИМЕНТАЛНОМ ИСТРАЖИВАЊУ: ИСПИТИВАЊЕ РЕЛЕВАНТНОСТИ НАЧИНА ПЛАЋАЊА ПРИЛИКОМ ИЗБОРА ТУРИСТИЧКИХ АРАНЖМАНА ОД СТРАНЕ СТУДЕНАТА ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

# APPLICATION OF THE PROPENSITY SCORE METHOD IN QUASI-EXPERIMENTAL RESEARCH: EXAMINING THE RELEVANCE OF PAYMENT METHODS IN CHOOSING TOURIST ARRANGEMENTS AMONG DOCTORAL STUDENTS

МАРИНА ПЕТРОВИЋ[1], БРАНИСЛАВА ХРИСТОВ СТАНЧИЋ[2], ЛАЗАР ЧОЛИЋ[3],

[1] Универзитет у Београду, Економски факултет , Београд, marina.petrovic@ekof.bg.ac.rs
[2] Универзитет у Београду, Економски факултет , Београд, branislava.hristov@ekof.bg.ac.rs
[3] Универзитет у Београду, Економски факултет , Београд, lazar.colic@ekof.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Циљ овог рада јесте да се тестира хипотеза да докторанди економских наука показују већи интерес за економско-пословне теме, те да им је начин плаћања туристичких аранжмана важнији него студентима основних и мастер студија. Приликом оцењивања регресионог модела користимо пондере добијене применом методе скорова склоности (engl. propensity score) за балансирање експерименталне и контролне групе. Балансирање се врши према Шварцовом типу личности као збуњујућих варијабли (engl. confounding variables). Резултати спроведене анализе показују да је докторандима економских наука и студентима са нижим степеном образовања начин плаћања приликом избора туристичких аранжмана у истој мери важан.*

***Кључне речи:*** *Метода скорова склоности, збуњујуће варијабле, Шварцов тип личност, туризам, поанашање потрошача*

***Abstract:*** *The aim of this study is to test the hypothesis that doctoral students in economics show a greater interest in economic-business topics and that the payment method for tourist arrangements is more important to them than to undergraduate and master's students. When evaluating the regression model, we use weights obtained through the application of the propensity score method for balancing the experimental and control groups. Balancing is done according to Schwartz's personality type as confounding variables. The results of the conducted analysis show that doctoral students in economics consider the payment method equaly important when choosing tourist arrangements compared to students with lower levels of education.*

***Keywords:*** *Propensity score method, confounding variables, Schwartz's personality type, tourism, consumer behaviour*

---

# ТЕОРИЈА ИГАРА

# TEORIJA IGARA

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# PRIMENE TEORIJE IGARA U BEZBEDNOSTI NA MREŽAMA

# APPLICATIONS OF GAME THEORY IN NETWORK SECURITY

MILOŠ ZARIĆ[1], BILJANA PANIĆ[1], BOJAN JOVANOVIĆ[1], NATAŠA KONTREC[2],

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, biljana.panic@fon.bg.ac.rs
[2] Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Prištini, natasa.kontrec@pr.ac.rs

---

***Rezime:*** *Globalne mreže trpe dramatične promene što rezultira sve većom veličinom mreže, međusobnom povezanošću i pristupačnošću, a time i povećanjem njene ranjivosti. Tradicionalne metode sajber sigurnosti uključuju neprekinuti ciklus detekcije i reakcije na nove ranjivosti i pretnje. U procesu napada i odbrane mreže postoje napadač i odbrana i oni biraju strategije u skladu sa sopstvenim sistemskim uslovima, što je vrlo slično teoriji igara. Glavno pitanje obe strane je kako odabrati svoje strategije ili ponašanje i za to se može koristiti teorija igara. U radu je dat pregled primena teorije igara za bezbednost na mrežama.*

***Ključne reči:*** *Mrežna bezbednost, Teorija igara.*

***Abstract:*** *Global networks are undergoing dramatic changes resulting in ever-increasing network size, interconnectivity, and accessibility, thereby increasing their vulnerability. Traditional cybersecurity methods involve a continuous cycle of detecting and reacting to new vulnerabilities and threats. In the process of attacking and defending the network, there are attackers and defenders, and they choose strategies according to their system conditions, which is very similar to game theory. The main question for both sides is how to choose their strategies or behavior and game theory can be used for this. The paper provides an overview of game theory applications for network security.*

***Keywords:*** *Network Security, Game Theory.*

---

## 1. UVOD

Informaciona infrastruktura nove generacije mora bezbedno da povezuje računare, mobilne uređaje, bežične senzore, instrumente itd. Sajber bezbednost je suštinska komponenta informacija i telekomunikacija, koja utiče na sve ostale kritične infrastrukture. Ovaj pristup „patches-on-patches“ je kratka popravka i svedoči o neuspehu u trenutnoj paradigmi kibernetičke sigurnosti i ukazuje na potrebu novog i hrabrijeg pristupa. U budućim ratovima kibernetski prostor će igrati glavnu ulogu u kojoj ni za koga nije zagarantovano da će imati dominaciju. U odbrambeno-napadnim interakcijama u mrežama napadači napadaju mrežni ili računarski sistem, a branioci reaguju na ove napade. U mrežama **sistem** može biti čvor, uređaj, domaćin, softverski entitet, proces ili skup dve ili više ovih stavki. **Napadač je** lice ili stvar koja pokrene napad radi oštećenja sistema ili stvaranje gubitaka za vlasnika sistema. **Cilj napada** je sistem koji je napadnut ili mu preti opasnost. **IDS** je softverski ili hardverski sistem koji se koristi za nadgledanje događaja koji se dešavaju u mreži ili računarskom sistemu, a zatim se koristi za analizu kako bi se utvrdilo da li se napad događa ili se dogodio [3]. Pretpostavlja se da će IDS pokrenuti alarm ako dođe do napada, ali neće ako nema napada, mada u mnogim realnim situacijama *IDS* nije bez greške. **Virtuelni senzori** se mogu smatrati delom *IDS*-a. To je softverski agent koji se koristi za nadgledanje sistema i prikupljanje podataka [23]. **Branilac** je entitet sposoban da nadgleda i analizira događaje, utvrđuje da se napad dogodio i reaguje na napade. *IDS* koji može da odgovori na napade u ime mrežnog administratora smatra se braniocem.

Teorija igara se može koristiti za modeliranje i pronalaženje rešenja sajber sukoba. Strategije odlučivanja napadača su usko povezane sa strategijama odbrane i obrnuto. Sajber bezbednost modeliraju najmanje dva inteligentna agenta koji međusobno deluju u pokušaju da maksimiziraju ciljeve. Različite tehnike dostupne u teoriji igara mogu se koristiti za analizu opcija sajber pretnje od strane jednog napadača ili grupe. Teorija igara omogućava ispitivanje velikog broja scenarija pretnje u sajber sistemu. Izbor može biti jedan ili više načina, statička i dinamička igra. Prema tome da li postoji saradnja između dve strane, izbor se može podeliti na kooperativnu i nekooperativnu igru. Takođe može pružiti metode za sugerisanje nekoliko verovatnih akcija zajedno sa predviđenim ishodom za kontrolu budućih pretnji. Računari mogu da analiziraju sve kombinacije kako bi pronašli izuzetke u opštim pravilima, za razliku od ljudi koji su skloni previđanju mogućnosti. Ovaj pristup omogućava identifikaciju scenarija *šta ako* koji analitičar možda nije uzeo u obzir. U nastavku rada biće dat pregled nekih primena teorije igara za mrežnu bezbednost dobijen analizom dosadašnjih publikovanih empirijskih rezultata, a detaljniji pregled dat je u radu [24].

## 2. TEORIJA IGARA U MREŽNOJ BEZBEDNOSTI

S obzirom na svrhu, primene **teorije igara** u bezbednosti mreže mogu se klasifikovati u primene za: analizu odbrane mreže od napada i procenu bezbednosti mreže [25].

### 2.1. Primene za analizu odbrane mreže od napada

Teorija igara može se primeniti za razvoj kvantitativnog okvira koji uključuje modeliranje interakcija između napadača i branioca, predviđanje akcija napadača i određivanje odbrambene strategije. Ove primene obuhvataju: a) opštu i specijalizovanu analizu napada-odbrane [25].

Problemi opšte analize napada-odbrane su jedan napadač nasuprot jednog branioca. Akcije napadača su da napadnu ili da ne učine ništa, a branilaca da se brane ili ne rade ništa. U radu [18] branilac nema informacije da li je neki čvor u mreži napadač ili normalan korisnik, pa može zaključivati samo na osnovu svog verovanja. Može birati da se brani, ne preduzima ništa ili nasumično bira jednu od dve akcije. Model se koristi za modeliranje interakcije između svakog para čvorova od kojih je jedan odbrambeni, a drugi jedan od njegovih suseda, i za utvrđivanje najbolje strategije odbrane. Autori [13] daju primere simultanih igara sa potpunim informacijama gde svaki primer predstavlja scenario informacijskog rata. Za svaki scenario su našli najbolju strategiju igrača i istraživali da li postoji više od jednog Nešovog ekvilibrijuma (NE).

Većina primena spada u potklasu specijalizovane analize napada-odbrane. Scenario problema sadrži bar jedan od sledećih elemenata: specijalizovana mreža u kojoj se dešavaju napadi (poput bežične senzorske mreže ili bežične *ad hoc* mreže), složenije akcije napada ili odbrane (poput više metoda napada na više meta napada i više vrsta kontramera za odbranu svake mete) ili razmatranje više faza interakcije između branioca i napadača [7]. U [19] predstavljaju model upravljanja bezbednosnim rizicima kompanije koja nudi video usluge, a sastoji se od odeljenja: osnovne mreže, infrastrukture mobilne televizije, opreme poslednjeg kilometra, IT administratora i podrške i usluga video na zahtev. Između pojedinih odeljenja postoji izrazito velika zavisnost (između odeljenja IT podrške i odeljenja opreme poslednjeg kilometra postoji jasna zavisnost), dok između nekih ne postoji gotovo nikakva zavisnost (odeljenje usluga video na zahtev i odeljenje infrastrukture mobilne televizije). Oni smatraju da ulaganje resursa u svako odeljenje podjednako predstavlja veliku slabost organizacije budući da ne doprinose svi delovi kompaniji podjednako a pojedini čak nisu ni kooperativni. Razvijaju model nekooperativne igre dva ili više igrača (odeljenja koja deluju zasebno) i koperativne igre u kojoj bi dva najveća odeljenja (opreme poslednjeg kilometra i osnovne mreže) trebalo spojiti u jedno, a preostala tri odeljenja bi takođe trebalo grupisati unutar jednog kako bi se trošak smanjio i neprofitabilni delovi mogli više doprineti, čime se umesto igre više igrača sa nekooperativnim strategijama dobija kooperativna igra dva igrača. U radovima [22], [3] i [4] koriste Markovljeve lance. U [22] procenjuju rizik mrežnog informacionog sistema uzimajući u obzir bezbednosni status sadašnjosti i budućnosti, zasnovan na Markovljevim procesima. Identifikovali su pretnje koje povećavaju ranjivost i rizik, kao i akcije smanjivanja ranjivosti od strane administratora sistema. Modelirali su igru sa potpunim i savršenim informacijama sa dva igrača. Njihovi rezultati su slični ili bolji od tradicionalnih modela procene rizika kao što je analiza stabla otkaza (*Fault Tree Analysis - FTA*). U [3] su snimili rad IDS senzorskog sistema koristeći Markovljev lanac konačnih stanja i modelirali situacije: 1) igrači imaju potpune informacije o karakteristikama senzorskih sistema i protivnicima, 2) napadač nema informacije o karakteristikama senzorskog sistema i 3) igrač ima samo informacije o sopstvenim troškovima, prošlim akcijama i prošlim stanjima. U [4] predlažu primenu teorije igara sa ciljem izbora optimalnih akcija za difuziju rizika u organizaciji. Markovljevi procesi služe za analizu akcije malicioznog napadača koje povećavaju stepen rizika u organizaciji ali istovremeno i posmatraju akcije odeljenja za upravljanje rizikom koje su usmerene ka izbegavanju rizika i šteta koje on nosi. Pošto u praksi elementi Markovljeve matrice prelaza nisu uvek svi poznati u svakom trenutku, pribegavaju metodi Q učenja (*Q-learning*) gde napadač i branilac mogu da konvergiraju ka optimalnim strategijama uprkos nepoznavanju strategije protivnika. Autori [17] posmatraju problem sa mrežnom bezbednošću kao niz igara koje su igrali napadač i branilac. Ovo je nazvano "fiktivna igra“ (*Fictitious Play - FP*) i smatra se da igrači ne mogu sagledati savršeno međusobne prethodne akcije. Ovaj rad je proučavao uticaj verovatnoće greške povezane sa senzornim sistemom na NE igrača koji razmatraju scenarije: (a) svaki igrač je svestan ove verovatnoće greške i (b) nijedan igrač ne zna ove verovatnoće greške. U [6] predstavili su pristup proceni rizika za strategije ulaganja u kibernetsku bezbednost sa fokusom na zaštiti intelektualnog vlasništva u privatnom i javnom sektoru, a koristili su igre sa nesavršenim informacijama. U [9] bave se problemom investiranja u bezbednost mreže od strane korisnika Interneta koji imaju konfliktne ciljeve, a kako bi poboljšali privatnu i javnu bezbednost celog Interneta. Autori predlažu modeliranje nekooperativne igre za više korisnika. Za svaki nivo bezbednosti (ukupni napor, najslabija veza, najbolji pogodak i najslabiji cilj) definišu igru i analiziraju NE.

Bežične mreže su zbog svojih karakteristika izložene aktivnim i pasivnim napadima. Kod pasivnih napada zlonamerni entitet ne preduzima ništa osim posmatranja stalne komunikacije npr. prisluškujući komunikaciju subjekata ulazi u njihovu privatnost. Ako napadač zloupotrebi protokol sa ciljem da sam ostvari koristi od performansi, takav napad se zove zlonamerno ponašanje, a ako ne zloupotrebi, ali ima za cilj ometanje rada mreže sprečavanjem redovnog korišćenja usluge, napad se zove uskraćivanje usluge (DoS - *Denial of Service*). Postoje masovni i logički napadi. Masovni napad podrazumeva slanje velikog broja zahteva za uslugu koju nudi žrtva. Ovi zahtevi opterećuju resurse tako da se zahtevi korisnika ne izvršavaju jer sistem nema dovoljno resursa. Osmišljen je veliki broj odbrana od ovih napada, a tu spadaju reaktivni ako nastoje da ublaže uticaj napada i preventivni ako omogućavaju žrtvi da toleriše napad bez uskraćivanja usluge korisnicima sprovođenjem restrikcija za potrošnju resursa. Logički napadi su slanje poruke koju žrtva prima i obrađuje što dovodi do iscrpljivanja resursa, a posledice ovih napada ostaju sve dok se ne izvrši otklanjanje. Mogu se osujetiti ispitivanjem sadržaja poruke koja se prima i odbacivanjem malicioznih poruka, jer se poruka napada po sadržaju razlikuje od redovnih poruka. Ograničavanje potrošnje resursa se postiže tako što po prijemu zahteva branilac pravi slagalicu i šalje je podnosiocu zahteva. Većina istraživanja u ovoj oblasti okrenuta je razvoju odbrambenih mehanizama protiv napada DoS. U [7] se predlaže slagalica gde se akcije biraju na osnovu NE. Ako se odgovori tačno, dodeljuju se resursi. Rešavanje troši resurse, pa upravo to trošenje sopstvenih resursa odvraća napadača koji namerava da iskoristi resurse branioca podnošenjem velikog broja zahteva. Ukoliko napadač zna odbrambene radnje branioca, može da pobedi odbranu zasnovanu na slagalicama. Ukoliko branilac pravi komplikovane slagalice, napadač na njih može da odgovara nasumično i netačno i da na taj način iscrpi resurse branioca uključene u verifikaciju rešenja. Ako branilac proizvodi jednostavne zagonetke, a sistem za rešavanje istih na strani napadača nije efikasan, tada bi optimalno za branioca bilo da koristi jednostavne mehanizme za pravljenje slagalica i proveravanje rešenja. U [20] se bave igrama ometanja čiju ravnotežnu strategiju karakterišu očekivane perofrmanse pod DoS napadima koje i pokreću mrežne protokole razvijene za zaštitu bežične komunikacije. DoS napadi su formulisani kao nekooperativne igre dva igrača – emitera i ometača, a pošto su sa nepotpunim informacijama, koriste se Bajesove igre. Autori dokazuju da opšta nesigurnost može pomoći u ublažavanju zlonamernog ponašanja jer ometači ne znaju tip suigrača, tj. postoji šansa da je i on zlonameran, pa oni mogu postati manje agresivni.

Igrači sakrivaju svoje tipove kao odbrambeni mehanizam. Svaka strategija u Bajesovoj ravnoteži predstavlja najbolji odgovor na strategije slučajnih tipova protivnika u toj ravnoteži. I u [16] predlažu Bajesove igre za otkrivanje upada u bežične ad hoc mreže (skup mobilnih čvorova u kojima čvorovi komuniciraju međusobno bez pomoći bilo koje fiksne infrastrukture) jer igrači ne znaju kom tipu pripada protivnik. Za otkrivanje upada u ove mreže većina rešenja zahteva implementaciju IDS-a u svaki odbrambeni čvor jer ad-hoc mreže imaju decentralizovano upravljanje, pa IDS u svakom odbrambenom čvoru mora biti uvek aktivan. Autori modeliraju interakcije kroz dinamičku i statičku Bajesovu igru. U statičkoj igri defanzivac je fiksirao svoja uverenja o tome kakvog je tipa napadač. U dinamičkoj igri svaki sused može biti napadač ili običan korisnik, pa on mora da napravi scenarije za oba tipa za svakog suseda dok svi susedi znaju njegov tip. Ovakva igra ima više faza, a na kraju svake, defanzivac može menjati uverenja o tipu drugog igrača na osnovu njegove prethodne akcije. Autori [1] modelirali su interakciju napadača i mrežnog administratora kao igru sa ponavljanjem. Pretpostavljeno je da je senzorski sistem za otkrivanje napada nesavršen i smatran je trećim igračem sličnim igraču „prirode" u teoriji igara. Rad [15] modelira interakcije između DoS napadača i mrežnog administratora i pokušava da predvidi namere, ciljeve i strategije napadača radi procene rizika i štete. U radu [14] izučavaju kontrolisana ometanja bežičnih mreža koja su laka za pokretanje, a teško ih je otkriti. Autori nude rešenje koje ograničava trošenje resursa za otkrivanje napada. U slučaju nedostatka informacija napadač i mreža optimalno reaguju na najgoru strategiju drugog.

## 2.2. Primene za procenu bezbednosti mreže

Bezbednost je koncept koji se odnosi na poverljivost, integritet, pouzdanost i dostupnost [2]. Merenje bezbednosti procenjuje nivo zaštite. Pouzdanost je isprepletena sa bezbednošću i postoji više metrika za merenje bezbednosti i pouzdanosti, kao što su srednje vreme do otkaza (*mean time to failure*), srednje vreme do prvog neuspeha (*Mean Time To First Failure*), srednje vreme između kvarova (*Mean Time Between Failures*), srednje vreme do sledećeg otkaza i rizik. Predloženo je da cena anarhije (Price of Anarchy - POA) predstavlja metriku za procenu efikasnosti sistema u smislu bezbednosti. Sebična ulaganja korisnika kojima smanjuju samo svoj rizik utiču negativno na bezbednost mreže u celini. Autori [12] prikazuju *POA* za dva modela, efektivnog-investicionog (*Effective-investment model - EI*) i modela lošeg prometa (*Bad-Traffic model - BT*) i pokazuju kako POA zavisi od konfiguracije mreže, funkcija troškova pojedinačnih korisnika i njihovog međusobnog uticaja. Pokazuju da se u igrama sa ponavljnjem može postići bolji rezultat jer korisnici više sarađuju zbog dugoročnih interesa. Razmatraju korelacionu ravnotežu (correlated equilibrium - CE) da bi uhvatili implicitnu koordinaciju između korisnika u ponovljenoj EI i BT igri. U [11] predlažu metod za procenu bezbednosnih rizika mreže u kome modeliraju igru napadača i branioca, koji imaju akcije „napadati" i „ne napadati", odnosno „braniti" i „ne braniti".

## 2.3. Ostale primene

Autori [5] predstavili su model za procenu verodostojnosti uspešnih napada na mrežu uz međusobno zavisne datoteke i usluge. Pružili su logički model koji računa vreme potrebno za napad, pad ili popravku mrežnih sistema i razmotrili su strateške akcije napadača i branioca. U [21] analizirali su problem bezbednosti informacija u lancu mobilne elektronske trgovine. Tvrde da se primena teorije igara u bezbednosti informacija zasniva na hipotezi savršene racionalnosti igrača dok u stvarnosti glavni deo bezbednosti informacija ima samo ograničenu racionalnost. Da bi ulaganje postalo racionalna opcija, uveli su parametar kazne ako organizacija u lancu elektronske trgovine za mobilne uređaje ne investira u sigurnost informacija. Autori [8] su ponudili metodu izračunavanja koristi napadača i branioca. Svrha DoS napada je da se dođe do resursa korisnika, tako da branilac nema šanse da obradi zahtev legitimnog korisnika ili da prouzrokuje rušenje sistema. Tokom napada, koristi napadača uključuju: 1) Odnos paketa podataka za napad prema ukupnom broju paketa, 2) Stopa uskraćivanja normalnih paketa i 3) Količina propusne širine napadača koju je sam potrošio, a njegove štete: 4) Stopa odbijanja napada i 5) Ukupno vreme usluge koje je napadač potrošio. Koristi branioca su: 1) Odnos normalnih paketa prema ukupnom broju paketa, 2) Stopa odbijanja napada i 3) Ukupno vreme servisa koje je napadač potrošio, a štete: 4) Stopa uskraćivanja normalnih paketa i 5) Troškovi implementacije odbrambene strategije. U radu [10] prikazana su područja teorije igara koja su relevantna za informaciono ratovanje. Identifikovali su sledećih sedam problema u primeni teorije igara na domen informacionog rata: 1) postoji ograničena baza relevantnih igara koje igraju pravi igrači, 2) i napadač i branilac mogu pokrenuti više poteza istovremeno, 3) obe strane mogu da održavaju igru, sve dok žele da prave poteze, igre mogu trajati, 4) branilac možda neće moći pravilno da identifikuje krajnji cilj protivnika, 5) na svakom koraku tok igre se može promeniti tako da se poznati potezi, i po broju i po vrstama, mogu menjati za svakog igrača, 6) branilac će možda teško moći da prati bilo kakve promene resursa protivnika, kao i njegove krajnje ciljeve, 7) teško je precizno odrediti vreme pomeranja i ažuriranja stanja. Rad istražuje kako postojeća teorijska rešenja zadovoljavaju neke od gorenavedenih izazova.

## 3. ZAKLJUČAK

Bezbednost bi trebalo da bude sastavni deo naprednog hardvera i softvera od samog početka. U radu je dat pregled primena teorije igara za bezbednost na mrežama. Budući da je scenario za opštu analizu napad-odbrana jednostavan, interakcija se može modelirati kao jednostavna igra, pa je rešenje igre relativno lako predvideti. Nedostatak je neefikasnost u složenijim scenarijima. Prednosti specijalizovane analize su u tome što razmatra složenije ili realnije scenarije i bolje unosi dinamiku interakcije. Nedostaci su složenost i mogući nedostatak robusnosti. Modeli igara za specijalizovanu analizu složeniji su od modela koji se koriste za opštu analizu. Rešenje igre nije lako dobiti. Mnogi trenutni teorijski pristupi bezbednosti zasnivaju se na statičkim modelima igara i igrama sa savršenim informacijama dok se u praksi mrežni administrator često suočava s dinamičkom igrom sa nepotpunim i nesavršenim informacijama. Neki od trenutnih modela koji uključuju dinamičku igru sa nepotpunim i nesavršenim informacijama specifični su za bežične mreže, dok se neki drugi modeli smatraju nerealnim scenarijem napada. Mnogi modeli se ne mogu prilagoditi veličini i složenosti sistema koji se razmatra. Uprkos nedostacima, teorija igara prevazilazi tradicionalna rešenja za sajber bezbednost mreže, pa se pokazala korisnom za analizu strateških situacija odlučivanja branilaca i napadača.

## LITERATURA

[1] Alpcan, T. i Baser, T. (2004). A game theoretic analysis of intrusion detection in access control systems. *Proc. 43rd IEEE Conference on Decision and Control*, 2, 1568-1573.

[2] Avizienis, A., Laprie, J.-C., Randell, B. i Landwehr, C. (2004). Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing, *IEEE Trans. Dependable Secure Computing*, 1(1), 11-33.

[3] Bloem, M., Alpcan, T. i Basar, T. (2006). Intrusion response as a resource allocation problem. *IEEE Conference on Descision and Control*, 6283-6288.

[4] Bommannavar, P., Alpan, T. i Bambos, N. (2011). Security Risk Management via Dynamic Games with Learning. *IEEE International Conference on Communications*, 1-6.

[5] Bursztein, E. i Goubalt-Larrecq, J. (2007). A logical framework for evaluating network resilience against faults and attacks. *Lecture Notes in Computer Science,* 4846.

[6] Carin, L., Cybenko, G. i Hughesm J. (2008). Quantitative evalua- tion of risk for investment efficient strategies in cybersecu- rity: The queries methodology. *IEEE Computer*.

[7] Fallah, M. (2010). A Puzzle-based defense strategy against flooding attacks using game theory. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 7(1), 5-19.

[8] Gao, L., Li, Y., Zhang, L., Lin, F. i Ma, M. (2019). Research on Detection and Defense Mechanisms of DoS Attacks Based on BP Neural Network and Game Theory. *IEEE Access*, 7, 43018-43030. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2905812.

[9] Grossklags, J., Johnson, B. i Christin, N. (2010). When information improves information security, *Proc. 2010 Financial Cryptography Conference* (FC'10).

[10] Hamilton, S. N., Miller, W. L., Ott, A. i Saydjari, O.S. (2002). The role of game theory in information warfare. *Proc. 4th infor-mation survivability workshop* (ISW-2001/2002). http://www.cert.org/research/isw/isw2001/papers/index.html

[11] He, W., Xia, C., Wang, H., Zheng, C. i Ji, Y. (2008). A game theoretical attack-defense model oriented to network security risk assessment. *2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering*, 498 - 504.

[12] Jiang, L. i Anantharam, V. (2011). How bad are selfish Investments in network security? *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 19(2), 549-560.

[13] Jormakka, J. i Molsa, J. V. E. (2005). Modelling information warfare as a game. *Journal of Information Warfare*, 4(2), 12-25.

[14] Li, M., Koutsopoulos, I. i Poovendran, R. (2007). Optimal jamming at-tacks and network defense policies in wireless sensor networks. *Proc. IEEE International Conference on Computer Communications* (INFOCOM), 1307 - 1315.

[15] Liu, P., Zang, W. i Yu, M. (2005). Incentive-based modeling and inference of attacker intent, objectives, and strategies. *ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC).*

[16] Liu, Y., Comaniciu, C. i Man, H. (2006). A bayesian game approach for intrusion detection in wireless ad hoc networks. *Proc. 2006 workshop on Game theory for communications and networks*.

[17] Nguyen, K. C., Alpcan, T. i Basar, T. (2009). Stochastic games for security in networks with interdependent nodes. *Proc. of Intl. Conf. on Game Theory for Networks (GameNets).*

[18] Patcha, A. i Park, J. (2004). A game theoretic approach to modeling intrusion detection in mobile ad hoc networks. *Proc. 2004 IEEE workshop on Information Assurance and Security*, 280-284.

[19] Saad, W., Alpcan, T., Basar, T. i Hjørungnes, A. (2010). Coalitional game theory for security risk management. *Proc. 5th Intl. Conf. on Internet Monitoring and Protection*, 35-40.

[20] Sagduyu, Y., Berry, R. i Ephremides, A. (2011). Jamming games in wireless networks with incomplete information. *IEEE Commun. Mag.*, 49(8), 112-118.

[21] Sun, W., Kong, X., He, D. i You, X. (2008). Information security problem research based on game theory. *International Sym- posium on Publication Electronic Commerce and Security.*

[22] Xiaolin, C., Xiaobin, T., Yong, Z. i Hongsheng, X. (2008). A Markov game theory-based risk assessment model for network information systems. *International conference on computer science and software engineering*, 3, 57-61.

[23] Zamboni, D. (2001). Using internal sensors for computer intrusion detection. *Ph.D. dissertation*. Purdue University.

[24] Zarić, M. (2021). Pregled teorija igara koje se primenjuju na mrežnu bezbednost. *Master rad*, FON, Beograd.

[25] Zhang, Y., Xiao, Y., Ghaboosi, K., Zhang, J. i Deng, H. (2012). A Survey of Cyber Crimes. *Wiley Journal of Security and Communication Networks*, 5(4), 422-437.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# PRIMENE TEORIJE IGARA U BEZBEDNOSTI NA MREŽAMA

# APPLICATIONS OF GAME THEORY IN NETWORK SECURITY

MILOŠ ZARIĆ[1], BILJANA PANIĆ[1], BOJAN JOVANOVIĆ[1], NATAŠA KONTREC[2],

[1] Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, biljana.panic@fon.bg.ac.rs
[2] Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Prištini, natasa.kontrec@pr.ac.rs

***Rezime:*** *Globalne mreže trpe dramatične promene što rezultira sve većom veličinom mreže, međusobnom povezanošću i pristupačnošću, a time i povećanjem njene ranjivosti. Tradicionalne metode sajber sigurnosti uključuju neprekinuti ciklus detekcije i reakcije na nove ranjivosti i pretnje. U procesu napada i odbrane mreže postoje napadač i odbrana i oni biraju strategije u skladu sa sopstvenim sistemskim uslovima, što je vrlo slično teoriji igara. Glavno pitanje obe strane je kako odabrati svoje strategije ili ponašanje i za to se može koristiti teorija igara. U radu je dat pregled primena teorije igara za bezbednost na mrežama.*

***Ključne reči:*** *Mrežna bezbednost, Teorija igara.*

***Abstract:*** *Global networks are undergoing dramatic changes resulting in ever-increasing network size, interconnectivity, and accessibility, thereby increasing their vulnerability. Traditional cybersecurity methods involve a continuous cycle of detecting and reacting to new vulnerabilities and threats. In the process of attacking and defending the network, there are attackers and defenders, and they choose strategies according to their system conditions, which is very similar to game theory. The main question for both sides is how to choose their strategies or behavior and game theory can be used for this. The paper provides an overview of game theory applications for network security.*

***Keywords:*** *Network Security, Game Theory.*

## 1. UVOD

Informaciona infrastruktura nove generacije mora bezbedno da povezuje računare, mobilne uređaje, bežične senzore, instrumente itd. Sajber bezbednost je suštinska komponenta informacija i telekomunikacija, koja utiče na sve ostale kritične infrastrukture. Ovaj pristup „patches-on-patches“ je kratka popravka i svedoči o neuspehu u trenutnoj paradigmi kibernetičke sigurnosti i ukazuje na potrebu novog i hrabrijeg pristupa. U budućim ratovima kibernetski prostor će igrati glavnu ulogu u kojoj ni za koga nije zagarantovano da će imati dominaciju. U odbrambeno-napadnim interakcijama u mrežama napadači napadaju mrežni ili računarski sistem, a branioci reaguju na ove napade. U mrežama **sistem** može biti čvor, uređaj, domaćin, softverski entitet, proces ili skup dve ili više ovih stavki. **Napadač je** lice ili stvar koja pokrene napad radi oštećenja sistema ili stvaranje gubitaka za vlasnika sistema. **Cilj napada** je sistem koji je napadnut ili mu preti opasnost. **IDS** je softverski ili hardverski sistem koji se koristi za nadgledanje događaja koji se dešavaju u mreži ili računarskom sistemu, a zatim se koristi za analizu kako bi se utvrdilo da li se napad događa ili se dogodio [3]. Pretpostavlja se da će IDS pokrenuti alarm ako dođe do napada, ali neće ako nema napada, mada u mnogim realnim situacijama *IDS* nije bez greške. **Virtuelni senzori** se mogu smatrati delom *IDS*-a. To je softverski agent koji se koristi za nadgledanje sistema i prikupljanje podataka [23]. **Branilac** je entitet sposoban da nadgleda i analizira događaje, utvrđuje da se napad dogodio i reaguje na napade. *IDS* koji može da odgovori na napade u ime mrežnog administratora smatra se braniocem.

Teorija igara se može koristiti za modeliranje i pronalaženje rešenja sajber sukoba. Strategije odlučivanja napadača su usko povezane sa strategijama odbrane i obrnuto. Sajber bezbednost modeliraju najmanje dva inteligentna agenta koji međusobno deluju u pokušaju da maksimiziraju ciljeve. Različite tehnike dostupne u teoriji igara mogu se koristiti za analizu opcija sajber pretnje od strane jednog napadača ili grupe. Teorija igara omogućava ispitivanje velikog broja scenarija pretnje u sajber sistemu. Izbor može biti jedan ili više načina, statička i dinamička igra. Prema tome da li postoji saradnja između dve strane, izbor se može podeliti na kooperativnu i nekooperativnu igru. Takođe može pružiti metode za sugerisanje nekoliko verovatnih akcija zajedno sa predviđenim ishodom za kontrolu budućih pretnji. Računari mogu da analiziraju sve kombinacije kako bi pronašli izuzetke u opštim pravilima, za razliku od ljudi koji su skloni previđanju mogućnosti. Ovaj pristup omogućava identifikaciju scenarija *šta ako* koji analitičar možda nije uzeo u obzir. U nastavku rada biće dat pregled nekih primena teorije igara za mrežnu bezbednost dobijen analizom dosadašnjih publikovanih empirijskih rezultata, a detaljniji pregled dat je u radu [24].

## 2. TEORIJA IGARA U MREŽNOJ BEZBEDNOSTI

S obzirom na svrhu, primene **teorije igara** u bezbednosti mreže mogu se klasifikovati u primene za: analizu odbrane mreže od napada i procenu bezbednosti mreže [25].

### 2.1. Primene za analizu odbrane mreže od napada

Teorija igara može se primeniti za razvoj kvantitativnog okvira koji uključuje modeliranje interakcija između napadača i branioca, predviđanje akcija napadača i određivanje odbrambene strategije. Ove primene obuhvataju: a) opštu i specijalizovanu analizu napada-odbrane [25].

Problemi opšte analize napada-odbrane su jedan napadač nasuprot jednog branioca. Akcije napadača su da napadnu ili da ne učine ništa, a branilaca da se brane ili ne rade ništa. U radu [18] branilac nema informacije da li je neki čvor u mreži napadač ili normalan korisnik, pa može zaključivati samo na osnovu svog verovanja. Može birati da se brani, ne preduzima ništa ili nasumično bira jednu od dve akcije. Model se koristi za modeliranje interakcije između svakog para čvorova od kojih je jedan odbrambeni, a drugi jedan od njegovih suseda, i za utvrđivanje najbolje strategije odbrane. Autori [13] daju primere simultanih igara sa potpunim informacijama gde svaki primer predstavlja scenario informacijskog rata. Za svaki scenario su našli najbolju strategiju igrača i istraživali da li postoji više od jednog Nešovog ekvilibrijuma (NE).

Većina primena spada u potklasu specijalizovane analize napada-odbrane. Scenario problema sadrži bar jedan od sledećih elemenata: specijalizovana mreža u kojoj se dešavaju napadi (poput bežične senzorske mreže ili bežične *ad hoc* mreže), složenije akcije napada ili odbrane (poput više metoda napada na više meta napada i više vrsta kontramera za odbranu svake mete) ili razmatranje više faza interakcije između branioca i napadača [7]. U [19] predstavljaju model upravljanja bezbednosnim rizicima kompanije koja nudi video usluge, a sastoji se od odeljenja: osnovne mreže, infrastrukture mobilne televizije, opreme poslednjeg kilometra, IT administratora i podrške i usluga video na zahtev. Između pojedinih odeljenja postoji izrazito velika zavisnost (između odeljenja IT podrške i odeljenja opreme poslednjeg kilometra postoji jasna zavisnost), dok između nekih ne postoji gotovo nikakva zavisnost (odeljenje usluga video na zahtev i odeljenje infrastrukture mobilne televizije). Oni smatraju da ulaganje resursa u svako odeljenje podjednako predstavlja veliku slabost organizacije budući da ne doprinose svi delovi kompaniji podjednako a pojedini čak nisu ni kooperativni. Razvijaju model nekooperativne igre dva ili više igrača (odeljenja koja deluju zasebno) i koperativne igre u kojoj bi dva najveća odeljenja (opreme poslednjeg kilometra i osnovne mreže) trebalo spojiti u jedno, a preostala tri odeljenja bi takođe trebalo grupisati unutar jednog kako bi se trošak smanjio i neprofitabilni delovi mogli više doprineti, čime se umesto igre više igrača sa nekooperativnim strategijama dobija kooperativna igra dva igrača. U radovima [22], [3] i [4] koriste Markovljeve lance. U [22] procenjuju rizik mrežnog informacionog sistema uzimajući u obzir bezbednosni status sadašnjosti i budućnosti, zasnovan na Markovljevim procesima. Identifikovali su pretnje koje povećavaju ranjivost i rizik, kao i akcije smanjivanja ranjivosti od strane administratora sistema. Modelirali su igru sa potpunim i savršenim informacijama sa dva igrača. Njihovi rezultati su slični ili bolji od tradicionalnih modela procene rizika kao što je analiza stabla otkaza (*Fault Tree Analysis - FTA*). U [3] su snimili rad IDS senzorskog sistema koristeći Markovljev lanac konačnih stanja i modelirali situacije: 1) igrači imaju potpune informacije o karakteristikama senzorskih sistema i protivnicima, 2) napadač nema informacije o karakteristikama senzorskog sistema i 3) igrač ima samo informacije o sopstvenim troškovima, prošlim akcijama i prošlim stanjima. U [4] predlažu primenu teorije igara sa ciljem izbora optimalnih akcija za difuziju rizika u organizaciji. Markovljevi procesi služe za analizu akcije malicioznog napadača koje povećavaju stepen rizika u organizaciji ali istovremeno i posmatraju akcije odeljenja za upravljanje rizikom koje su usmerene ka izbegavanju rizika i šteta koje on nosi. Pošto u praksi elementi Markovljeve matrice prelaza nisu uvek svi poznati u svakom trenutku, pribegavaju metodi Q učenja (*Q-learning*) gde napadač i branilac mogu da konvergiraju ka optimalnim strategijama uprkos nepoznavanju strategije protivnika. Autori [17] posmatraju problem sa mrežnom bezbednošću kao niz igara koje su igrali napadač i branilac. Ovo je nazvano "fiktivna igra“ (*Fictitious Play - FP*) i smatra se da igrači ne mogu sagledati savršeno međusobne prethodne akcije. Ovaj rad je proučavao uticaj verovatnoće greške povezane sa senzornim sistemom na NE igrača koji razmatraju scenarije: (a) svaki igrač je svestan ove verovatnoće greške i (b) nijedan igrač ne zna ove verovatnoće greške. U [6] predstavili su pristup proceni rizika za strategije ulaganja u kibernetsku bezbednost sa fokusom na zaštiti intelektualnog vlasništva u privatnom i javnom sektoru, a koristili su igre sa nesavršenim informacijama. U [9] bave se problemom investiranja u bezbednost mreže od strane korisnika Interneta koji imaju konfliktne ciljeve, a kako bi poboljšali privatnu i javnu bezbednost celog Interneta. Autori predlažu modeliranje nekooperativne igre za više korisnika. Za svaki nivo bezbednosti (ukupni napor, najslabija veza, najbolji pogodak i najslabiji cilj) definišu igru i analiziraju NE.

Bežične mreže su zbog svojih karakteristika izložene aktivnim i pasivnim napadima. Kod pasivnih napada zlonamerni entitet ne preduzima ništa osim posmatranja stalne komunikacije npr. prisluškujući komunikaciju subjekata ulazi u njihovu privatnost. Ako napadač zloupotrebi protokol sa ciljem da sam ostvari koristi od performansi, takav napad se zove zlonamerno ponašanje, a ako ne zloupotrebi, ali ima za cilj ometanje rada mreže sprečavanjem redovnog korišćenja usluge, napad se zove uskraćivanje usluge (DoS - *Denial of Service*). Postoje masovni i logički napadi. Masovni napad podrazumeva slanje velikog broja zahteva za uslugu koju nudi žrtva. Ovi zahtevi opterećuju resurse tako da se zahtevi korisnika ne izvršavaju jer sistem nema dovoljno resursa. Osmišljen je veliki broj odbrana od ovih napada, a tu spadaju reaktivni ako nastoje da ublaže uticaj napada i preventivni ako omogućavaju žrtvi da toleriše napad bez uskraćivanja usluge korisnicima sprovođenjem restrikcija za potrošnju resursa. Logički napadi su slanje poruke koju žrtva prima i obrađuje što dovodi do iscrpljivanja resursa, a posledice ovih napada ostaju sve dok se ne izvrši otklanjanje. Mogu se osujetiti ispitivanjem sadržaja poruke koja se prima i odbacivanjem malicioznih poruka, jer se poruka napada po sadržaju razlikuje od redovnih poruka. Ograničavanje potrošnje resursa se postiže tako što po prijemu zahteva branilac pravi slagalicu i šalje je podnosiocu zahteva. Većina istraživanja u ovoj oblasti okrenuta je razvoju odbrambenih mehanizama protiv napada DoS. U [7] se predlaže slagalica gde se akcije biraju na osnovu NE. Ako se odgovori tačno, dodeljuju se resursi. Rešavanje troši resurse, pa upravo to trošenje sopstvenih resursa odvraća napadača koji namerava da iskoristi resurse branioca podnošenjem velikog broja zahteva. Ukoliko napadač zna odbrambene radnje branioca, može da pobedi odbranu zasnovanu na slagalicama. Ukoliko branilac pravi komplikovane slagalice, napadač na njih može da odgovara nasumično i netačno i da na taj način iscrpi resurse branioca uključene u verifikaciju rešenja. Ako branilac proizvodi jednostavne zagonetke, a sistem za rešavanje istih na strani napadača nije efikasan, tada bi optimalno za branioca bilo da koristi jednostavne mehanizme za pravljenje slagalica i proveravanje rešenja. U [20] se bave igrama ometanja čiju ravnotežnu strategiju karakterišu očekivane perofrmanse pod DoS napadima koje i pokreću mrežne protokole razvijene za zaštitu bežične komunikacije. DoS napadi su formulisani kao nekooperativne igre dva igrača – emitera i ometača, a pošto su sa nepotpunim informacijama, koriste se Bajesove igre. Autori dokazuju da opšta nesigurnost može pomoći u ublažavanju zlonamernog ponašanja jer ometači ne znaju tip suigrača, tj. postoji šansa da je i on zlonameran, pa oni mogu postati manje agresivni.

Igrači sakrivaju svoje tipove kao odbrambeni mehanizam. Svaka strategija u Bajesovoj ravnoteži predstavlja najbolji odgovor na strategije slučajnih tipova protivnika u toj ravnoteži. I u [16] predlažu Bajesove igre za otkrivanje upada u bežične ad hoc mreže (skup mobilnih čvorova u kojima čvorovi komuniciraju međusobno bez pomoći bilo koje fiksne infrastrukture) jer igrači ne znaju kom tipu pripada protivnik. Za otkrivanje upada u ove mreže većina rešenja zahteva implementaciju IDS-a u svaki odbrambeni čvor jer ad-hoc mreže imaju decentralizovano upravljanje, pa IDS u svakom odbrambenom čvoru mora biti uvek aktivan. Autori modeliraju interakcije kroz dinamičku i statičku Bajesovu igru. U statičkoj igri defanzivac je fiksirao svoja uverenja o tome kakvog je tipa napadač. U dinamičkoj igri svaki sused može biti napadač ili običan korisnik, pa on mora da napravi scenarije za oba tipa za svakog suseda dok svi susedi znaju njegov tip. Ovakva igra ima više faza, a na kraju svake, defanzivac može menjati uverenja o tipu drugog igrača na osnovu njegove prethodne akcije. Autori [1] modelirali su interakciju napadača i mrežnog administratora kao igru sa ponavljanjem. Pretpostavljeno je da je senzorski sistem za otkrivanje napada nesavršen i smatran je trećim igračem sličnim igraču „prirode“ u teoriji igara. Rad [15] modelira interakcije između DoS napadača i mrežnog administratora i pokušava da predvidi namere, ciljeve i strategije napadača radi procene rizika i štete. U radu [14] izučavaju kontrolisana ometanja bežičnih mreža koja su laka za pokretanje, a teško ih je otkriti. Autori nude rešenje koje ograničava trošenje resursa za otkrivanje napada. U slučaju nedostatka informacija napadač i mreža optimalno reaguju na najgoru strategiju drugog.

## 2.2. Primene za procenu bezbednosti mreže

Bezbednost je koncept koji se odnosi na poverljivost, integritet, pouzdanost i dostupnost [2]. Merenje bezbednosti procenjuje nivo zaštite. Pouzdanost je isprepletena sa bezbednošću i postoji više metrika za merenje bezbednosti i pouzdanosti, kao što su srednje vreme do otkaza (*mean time to failure*), srednje vreme do prvog neuspeha (*Mean Time To First Failure*), srednje vreme između kvarova (*Mean Time Between Failures*), srednje vreme do sledećeg otkaza i rizik. Predloženo je da cena anarhije (Price of Anarchy - POA) predstavlja metriku za procenu efikasnosti sistema u smislu bezbednosti. Sebična ulaganja korisnika kojima smanjuju samo svoj rizik utiču negativno na bezbednost mreže u celini. Autori [12] prikazuju *POA* za dva modela, efektivnog-investicionog (*Effective-investment model - EI*) i modela lošeg prometa (*Bad-Traffic model - BT*) i pokazuju kako POA zavisi od konfiguracije mreže, funkcija troškova pojedinačnih korisnika i njihovog međusobnog uticaja. Pokazuju da se u igrama sa ponavljnjem može postići bolji rezultat jer korisnici više sarađuju zbog dugoročnih interesa. Razmatraju korelacionu ravnotežu (correlated equilibrium - CE) da bi uhvatili implicitnu koordinaciju između korisnika u ponovljenoj EI i BT igri. U [11] predlažu metod za procenu bezbednosnih rizika mreže u kome modeliraju igru napadača i branioca, koji imaju akcije „napadati“ i „ne napadati“, odnosno „braniti“ i „ne braniti“.

## 2.3. Ostale primene

Autori [5] predstavili su model za procenu verodostojnosti uspešnih napada na mrežu uz međusobno zavisne datoteke i usluge. Pružili su logički model koji računa vreme potrebno za napad, pad ili popravku mrežnih sistema i razmotrili su strateške akcije napadača i branioca. U [21] analizirali su problem bezbednosti informacija u lancu mobilne elektronske trgovine. Tvrde da se primena teorije igara u bezbednosti informacija zasniva na hipotezi savršene racionalnosti igrača dok u stvarnosti glavni deo bezbednosti informacija ima samo ograničenu racionalnost. Da bi ulaganje postalo racionalna opcija, uveli su parametar kazne ako organizacija u lancu elektronske trgovine za mobilne uređaje ne investira u sigurnost informacija. Autori [8] su ponudili metodu izračunavanja koristi napadača i branioca. Svrha DoS napada je da se dođe do resursa korisnika, tako da branilac nema šanse da obradi zahtev legitimnog korisnika ili da prouzrokuje rušenje sistema. Tokom napada, koristi napadača uključuju: 1) Odnos paketa podataka za napad prema ukupnom broju paketa, 2) Stopa uskraćivanja normalnih paketa i 3) Količina propusne širine napadača koju je sam potrošio, a njegove štete: 4) Stopa odbijanja napada i 5) Ukupno vreme usluge koje je napadač potrošio. Koristi branioca su: 1) Odnos normalnih paketa prema ukupnom broju paketa, 2) Stopa odbijanja napada i 3) Ukupno vreme servisa koje je napadač potrošio, a štete: 4) Stopa uskraćivanja normalnih paketa i 5) Troškovi implementacije odbrambene strategije. U radu [10] prikazana su područja teorije igara koja su relevantna za informaciono ratovanje. Identifikovali su sledećih sedam problema u primeni teorije igara na domen informacionog rata: 1) postoji ograničena baza relevantnih igara koje igraju pravi igrači, 2) i napadač i branilac mogu pokrenuti više poteza istovremeno, 3) obe strane mogu da održavaju igru, sve dok žele da prave poteze, igre mogu trajati, 4) branilac možda neće moći pravilno da identifikuje krajnji cilj protivnika, 5) na svakom koraku tok igre se može promeniti tako da se poznati potezi, i po broju i po vrstama, mogu menjati za svakog igrača, 6) branilac će možda teško moći da prati bilo kakve promene resursa protivnika, kao i njegove krajnje ciljeve, 7) teško je precizno odrediti vreme pomeranja i ažuriranja stanja. Rad istražuje kako postojeća teorijska rešenja zadovoljavaju neke od gorenavedenih izazova.

## 3. ZAKLJUČAK

Bezbednost bi trebalo da bude sastavni deo naprednog hardvera i softvera od samog početka. U radu je dat pregled primena teorije igara za bezbednost na mrežama. Budući da je scenario za opštu analizu napad-odbrana jednostavan, interakcija se može modelirati kao jednostavna igra, pa je rešenje igre relativno lako predvideti. Nedostatak je neefikasnost u složenijim scenarijima. Prednosti specijalizovane analize su u tome što razmatra složenije ili realnije scenarije i bolje unosi dinamiku interakcije. Nedostaci su složenost i mogući nedostatak robusnosti. Modeli igara za specijalizovanu analizu složeniji su od modela koji se koriste za opštu analizu. Rešenje igre nije lako dobiti. Mnogi trenutni teorijski pristupi bezbednosti zasnivaju se na statičkim modelima igara i igrama sa savršenim informacijama dok se u praksi mrežni administrator često suočava s dinamičkom igrom sa nepotpunim i nesavršenim informacijama. Neki od trenutnih modela koji uključuju dinamičku igru sa nepotpunim i nesavršenim informacijama specifični su za bežične mreže, dok se neki drugi modeli smatraju nerealnim scenarijem napada. Mnogi modeli se ne mogu prilagoditi veličini i složenosti sistema koji se razmatra. Uprkos nedostacima, teorija igara prevazilazi tradicionalna rešenja za sajber bezbednost mreže, pa se pokazala korisnom za analizu strateških situacija odlučivanja branilaca i napadača.

## LITERATURA

[1] Alpcan, T. i Baser, T. (2004). A game theoretic analysis of intrusion detection in access control systems. Proc. 43rd IEEE Conference on Decision and Control, 2, 1568-1573.

[2] Avizienis, A., Laprie, J.-C., Randell, B. i Landwehr, C. (2004). Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing, IEEE Trans. Dependable Secure Computing, 1(1), 11-33.

[3] Bloem, M., Alpcan, T. i Basar, T. (2006). Intrusion response as a resource allocation problem. IEEE Conference on Descision and Control, 6283-6288.

[4] Bommannavar, P., Alpan, T. i Bambos, N. (2011). Security Risk Management via Dynamic Games with Learning. IEEE International Conference on Communications, 1-6.

[5] Bursztein, E. i Goubalt-Larrecq, J. (2007). A logical framework for evaluating network resilience against faults and attacks. Lecture Notes in Computer Science, 4846.

[6] Carin, L., Cybenko, G. i Hughesm J. (2008). Quantitative evaluation of risk for investment efficient strategies in cybersecu- rity: The queries methodology. IEEE Computer.

[7] Fallah, M. (2010). A Puzzle-based defense strategy against flooding attacks using game theory. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 7(1), 5-19.

[8] Gao, L., Li, Y., Zhang, L., Lin, F. i Ma, M. (2019). Research on Detection and Defense Mechanisms of DoS Attacks Based on BP Neural Network and Game Theory. IEEE Access, 7, 43018-43030. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2905812.

[9] Grossklags, J., Johnson, B. i Christin, N. (2010). When information improves information security, Proc. 2010 Financial Cryptography Conference (FC'10).

[10] Hamilton, S. N., Miller, W. L., Ott, A. i Saydjari, O.S. (2002). The role of game theory in information warfare. Proc. 4th infor-mation survivability workshop (ISW-2001/2002). http://www.cert.org/research/isw/isw2001/papers/index.html

[11] He, W., Xia, C., Wang, H., Zheng, C. i Ji, Y. (2008). A game theoretical attack-defense model oriented to network security risk assessment. 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering, 498 - 504.

[12] Jiang, L. i Anantharam, V. (2011). How bad are selfish Investments in network security? IEEE/ACM Trans. Netw., 19(2), 549-560.

[13] Jormakka, J. i Molsa, J. V. E. (2005). Modelling information warfare as a game. Journal of Information Warfare, 4(2), 12-25.

[14] Li, M., Koutsopoulos, I. i Poovendran, R. (2007). Optimal jamming at-tacks and network defense policies in wireless sensor networks. Proc. IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM), 1307 - 1315.

[15] Liu, P., Zang, W. i Yu, M. (2005). Incentive-based modeling and inference of attacker intent, objectives, and strategies. ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC).

[16] Liu, Y., Comaniciu, C. i Man, H. (2006). A bayesian game approach for intrusion detection in wireless ad hoc networks. Proc. 2006 workshop on Game theory for communications and networks.

[17] Nguyen, K. C., Alpcan, T. i Basar, T. (2009). Stochastic games for security in networks with interdependent nodes. Proc. of Intl. Conf. on Game Theory for Networks (GameNets).

[18] Patcha, A. i Park, J. (2004). A game theoretic approach to modeling intrusion detection in mobile ad hoc networks. Proc. 2004 IEEE workshop on Information Assurance and Security, 280-284.

[19] Saad, W., Alpcan, T., Basar, T. i Hjørungnes, A. (2010). Coalitional game theory for security risk management. Proc. 5th Intl. Conf. on Internet Monitoring and Protection, 35-40.

[20] Sagduyu, Y., Berry, R. i Ephremides, A. (2011). Jamming games in wireless networks with incomplete information. IEEE Commun. Mag., 49(8), 112-118.

[21] Sun, W., Kong, X., He, D. i You, X. (2008). Information security problem research based on game theory. International Sym- posium on Publication Electronic Commerce and Security.

[22] Xiaolin, C., Xiaobin, T., Yong, Z. i Hongsheng, X. (2008). A Markov game theory-based risk assessment model for network information systems. International conference on computer science and software engineering, 3, 57-61.

[23] Zamboni, D. (2001). Using internal sensors for computer intrusion detection. Ph.D. dissertation. Purdue University.

[24] Zarić, M. (2021). Pregled teorija igara koje se primenjuju na mrežnu bezbednost. Master rad, FON, Beograd.

[25] Zhang, Y., Xiao, Y., Ghaboosi, K., Zhang, J. i Deng, H. (2012). A Survey of Cyber Crimes. Wiley Journal of Security and Communication Networks, 5(4), 422-437.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# КООПЕРАТИВНЕ ИГРЕ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ УПРАВЉАЊА ЖЕЛЕЗНИЧКИМ КОРИДОРИМА: СТРУКТУРА ИГРЕ

# A COOPERATIVE GAME APPROACH FOR IMPROVING RAILWAY CORRIDOR GOVERNANCE: GAME STRUCTURE

МИРОСЛАВ ПРОКИЋ[1], БРАНИСЛАВ БОШКОВИЋ[2]

[1] Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, miroslav.prokic@yahoo.com
[2] Универзитет у Београду – Саобраћајни факултет, Београд, b.boskovic@sf.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Управљање једним железничким теретним коридором захтева успостављање ефикасних механизама координације и сарадње између неколико влада, управљача инфраструктуре и железничких превозника дуж истог коридора. Овај рад уводи примену теорије кооперативних игара и дефинише њену структуру у контексту проблема унапређења управљања коридорима подстицањем сарадње међу владама дуж коридора путем кооперативне игре. Структура кооперативне игре обухвата кључне елементе које укључују избор играча, одређивање мреже, технике моделирања, концепата решења, дефинисање функције корисности и карактеристичне функције. Такође, идентификована су и правила алокације како би се омогућила праведна расподела вишка насталог као резултат сарадње међу владама учесницама.*

***Кључне речи:*** *теорија кооперативних игара, железнички теретни коридори, управљање, теретни транспорт*

***Abstract:*** *Governance of railway freight corridors requires establishing effective coordination and cooperation mechanisms between different governments, infrastructure managers, and railway carriers along those corridors. This paper introduces the application of cooperative game theory and defines its structure in the context of the problem of improving corridor governance by enhancing cooperation among governments along the corridor through a cooperative game. The structure of the cooperative game covers the key components of the cooperative game, which include player selection, network determination, modelling techniques, solution concepts, defining the utility function, and the characteristic function. Allocation rules have also been identified to enable fair distribution of the surplus created due to cooperation among participating governments.*

***Keywords:*** *Cooperative Game Theory, Rail Freight Corridors, Governance, Freight Transport*

---

## 1. УВОД

У циљу стварања кохезије и повезаности, као и развоја железнице, Европска унија је 1991. године прогласила мрежу железничких коридора. Спори развој конкурентности железничког транспорта робе довео је потом до доношења Уредбе (ЕУ) 913/2010 о европској мрежи за конкуретни превоз робе која је опредељена само за железничке теретне коридоре и дефинише начин њиховог формирања и управљачку структуру са дефинисаним правилима и процедурама. Да би један коридор добио статус коридора, а тиме и привилегије у финансирању из европских фондова, мора формирати управљачка и саветодавна тела. У ужем смислу, ради се о извршном и управном одбору коридора. Извршни одбор чине министарства транспорта земаља које се налазе дуж коридора, док управни одбор чине управљачи инфраструктуре. Увођење управљачких тела коридора требало је да обезбеди добру координацију између земаља и њихових управљача железничке инфраструктуре са циљем повећања ефикасности железничке услуге на коридору.

Међутим, после више од деценије примене Уредбе 913/2010 није дошло до очекиваног повећања кооординације у управљању коридором. Један од разлога су непостојања јединствених критеријума и мерила за допринос повећању конкурентности коридора. Наиме, не улажу све земље једнаком динамиком и исте напоре на побољшању перформанси, односно конкурентности инфраструктуре коридора, док се у исто време ефекат улагања једне земље одражава и на повећање укупног обима транзитног саобраћаја на целом коридору па тиме и у свакој од земаља дуж коридора. Поред тога, сада постоји и међусобна конкурентност између коридора с обзиром да неки коридори пружају алтернативне правце другим коридорима.

Рад је заснован на идеји да се подстицање сарадње/координације између влада и њихових управљача инфраструктуре може се извршити увођењем кооперативне игре, односно теорије кооперативних игара. Теорија кооперативних игара је грана математике и економије која проучава понашање и исходе у ситуацијама у којима више чланова може формирати коалиције и тако координисати своје потезе. Последњих година расте интересовање за примену кооперативних игара у области коалиција које се формирају у области транспорта подстакнуто нивоом глобализације и развоју светске трговине. Требало би нагласити да земље дуж коридора постају све свесније потребе за сарадњом, односно за кооперативном игром, имајући у виду појаву и раст конкуренције између самих коридора ради привлачења нових робних токова.

Овај рад има за циљ да изврши предлог модела кооперативне игре са трансфером добити кроз идентификацију и увођење кључних елемената игре између влада дуж железничког теретног коридора. У следећем поглављу предложен је модел кооперативне игре где су објашњени тип мреже, играчи, колективна функција корисности и приступ моделовању проблема. Формулација карактеристичне функције је дата у трећем поглављу. Правила алокације за проблем железничког теретног коридора су дата у четвртом, а закључна разматрања са будућим планираним истраживањима су дати у поглављу пет.

## 2. МОДЕЛ КООПЕРАТИВНЕ ИГРЕ

Анализа сваке конфликтне и кооперативне ситуације мора почети спецификацијом модела који описује игру. Стога се општа структура или облик модела који се користи за описивање игара мора пажљиво размотрити. Превише поједностављен модел може превидети кључне аспекте стварних игара које се анализирају, док превише сложен модел може скренути пажњу са основних проблема [6].

У литератури постоје два главна модела и то игре са трансфером добити и игре без трансфера добити [7]. Игре са трансфером добити омогућавају упоређивање и слободну расподелу добити коју су остварили чланови коалиције. С обзиром на то да је случај коалиције између влада дуж коридора ситуација у којој је добит приход који се може делити између њих, у раду ће се користити игре са трансфером добити. Пре самог почетка игре, чланови преговарају о расподели добити и, уколико постигну споразум о заједничкој стратегији, чланови су обавезни да се придржавају договореног или ће у супротном сносити последице. Ове игре се представљају у облику карактеристичне функције која описује вредност које коалиција може генерисати или захтевати у интерактивној ситуацији доношења одлука [3].

Да би се формулисала кооперативна игра, неопходно је претпоставити да је сваки играч интелигентан и рационалан доносилац одлука што подразумева да уласком у коалицију очекује да ће остварити барем резултат једнак ономе који би остварио да наступа појединачно, што представља и примарни подстицај за сарадњу. Како би се обезбедило да да не постоји економско оправдање да играч напусти формирану коалицију развијени су и различити концепти решења односно правила алокације који омогућавају расподелу исхода сарадње.

## 2.1 Тип мреже

Проблем сарадње између влада дуж железничког коридора можемо представити серијском мрежом где су чворови (a, b, c, d и e) повезани са n узастопних грана. Чворови представљају луке, пограничне станице, ранжирне станице и терминале док гране чине железничке пруге које спајају ове објекте дуж теретног коридора. На овај начин чворовима и гранама је могуће доделити нумеричке карактиристике као што су обим саобраћаја који се генерише из чворова и време чекања или трошкови транспорта дуж грана што ће олакшати постављање и моделовање проблема

**Слика 1:** Поједностављени приказ железничког коридора

Кроз сваку грану се обавља транзитни саобраћај (прелазећи најмање две гране) и локални саобраћај (користећи само једну грану), а у власништву је земље кроз коју пролази. Два друга ентитета повезана са сваком граном су управљач инфраструктуре и железнички превозници који пружају транспортне услуге.

Управљач инфраструктуре продаје свој инфраструктурни капацитет у виду траса за возове железничким превозницима, чиме остварује приход наплаћивањем накнада за приступ инфраструктури. Влада кроз државни буџет обезбеђује финансијску надокнаду за покривање разлике између прихода оствареног од накнада за приступ инфраструктури и укупних трошкова управљача. Повећањем обима транзитног саобраћаја на железничкој мрежи, односно коридору нужно води ка повећању прихода управљача инфраструктуре и, последично, смањењу буџетских издвајања за исту инфраструктуру.

## 2.2 Играчи и могућа стратегија

Владе, посебно министарства надлежна за послове саобраћаја, играју кључну улогу у управљању железничким теретним коридорима. Они не само да су власници железничке инфраструктуре на својим територијама, већ и спроводе мере и интервенције које могу позитивно или негативно утицати на функционисање и конкурентност самог коридора.

Да би се успоставила кооперативна игра међу владама дуж једног железничког теретног коридора, владе земаља на коридору би требале да преговарају и договоре скуп акција и рокове за њихову примену, усвајајући тако обавезујућу стратегију коју треба следити у кооперативној игри. Ова заједничка стратегија треба да обухвати активности чијим спровођењем би се повећала конкурентност коридора као што је примена униформног модела накнада за приступ инфраструктури дуж коридора, уклањање или смањење баријера у физичким, оперативним или управљачким аспектима железничког коридора и спровођење других мера, политика и подстицаја за постизање циљева коридора. Сваки коридор, у зависности од својих специфичности, може имати своју јединствену стратегију којим се унапређују његове перформансе.

## 2.3 Функција корисности

Узимајући у обзир горе наведено, преференције влада могу се описати функцијом корисности која ће имати за циљ да минимизира доделу средстава из националног буџета за надокнаду трошкова управљачима инфраструктуре. Ово се може постићи предузимањем и спровођењем мера у оквиру договорене стратегије за унапређење перформанси коридора што ће последично довести до повећања обима саобраћаја и повећања прихода од накнада за приступ инфраструктури.

Нека је $N\{1,\dots, n\}$ скуп власника, односно влада дуж серијске мреже и нека је појединачна функција корисности означена са $\Pi_i$ а колективна функција корисности представљена збиром појединачних функција сваке од влада. Колективна функција корисности за све владе у општем облику може се представити на следећи начин:

$$\sum_{i=1}^{n} П_i = \sum_{i=1}^{n} TC_i - \sum_{i=1}^{n} Cac_i * D_i * X \tag{1}$$

где је *TC* укупни трошак управљача инфраструктуре, *Cac* представља јединичне трошкове приступа железничкој инфраструктури у еврима по километру, *D* је дужина коридора а *X* представља укупан број возова дуж коридора. Након успостављања коалиције и спровођења стратегије, колективна профитна функција може се написати као:

$$\sum_{i=1}^{n} П_i^{coop} = \sum_{i=1}^{n} TC_i - \sum_{i=1}^{n} Cac_i^{uni} * D_i * X^{coop} \tag{2}$$

где је $Cac_i^{uni}$ је израчуната оптимална вредност накнаде за приступ инфраструктури уједначена за цео коридор док $X^{coop}$ представља нови број возова дуж коридора након спровођења активности из стратегије.

## 2.4 Моделовање проблема

Модел тражње за транспортом мора бити укључен у процес кооперативне игре. Тражња за транспортом се односи на количину и врсту превоза који би корисници изабрали под одређеним околностима. Модели који обухватају ове односе могу предвидети како ће различити трендови, политике и пројекти утицати на будући учинак транспорта. Ово омогућава процену потенцијалних проблема и стратегија за унапређење транспортног система [5]. Због тога је неопходан модел транспортне тражње да би се проценио утицај спровођења стратегије на обим железничког саобраћаја и утврдио вишак који произилази из сарадње. Овај вишак, или његов део, треба да се изрази карактеристичном функцијом која описује кооперативну игру.

Једноставни модели еластичности тражње коришћени су у ранијим радовима који су се бавили применом теорије кооперативних игара у проблемима серијских транспортних мрежа, као што су De Borger *i dr.* [1] i Grahn-Voorneveld [5]. Ови модели омогућавају брзу анализу промена у транспортној тражњи на основу осетљивости тражње на варијације одређених атрибута у оквиру генерализованих трошкова транспорта у датом тренутку. Ови једноставни модели су такође примењиви на проблем железничких теретних коридора.

## 3. ФОРМУЛАЦИЈА КАРАКТЕРИСТИЧНЕ ФУНКЦИЈЕ

Успостављање кооперативне игре међу владама отежава одсуство наднационалне институције која има надлежност да обезбеди сарадњу на коридору. Тренутно, гореспоменути органи управљања коридором поседују ограничене могућности доношења одлука. Крајњи ауторитет имају владе, које често при доношењу одлука дају приоритет националним интересима. Стога је неопходно увести механизам који даје одређена овлашћења органима управљања коридором да спроводе игру и награђују владе које спроводе стратегију и обрнуто. Потенцијално решење је да се органу за управљање коридором да овлашћење да наплаћује накнаде за приступ инфраструктури за коридорске трасе возова. Решење је реално с обзиром на уведени појам *one stop shop-a* тј. продаје трасе (капацитета) на једном месту за цео коридор који већ функционише у пракси. Ова надлежност управних органа коридора би требала да се прошири и на расподелу прикупљених прихода од ових накнада на основу правила расподеле у моделу кооперативне игре.

Стога се карактеристична функција *v(S)* може дефинисати као:

$$v(S) = \sum_{i=1}^{n} D_i * Cac^{uni} * X^{coop} - \sum_{i=1}^{n} D_i * Cac_i * X \tag{3}$$

где *v* је карактеристична функција повезана са сваком коалицијом *S* која одређује вредност коју играчи могу поделити међу собом. Први део функције представља приход од накнада за приступ инфраструктури након сарадње, док је други приход без сарадње и зависи од броја возова дуж коридора и јединичне цене за приступ и коришћење инфраструктуре.

Предложени приступ је у складу са налазима рада De Borgera *i dr.* [2], који испитује однос цена коришћења транспортне инфраструктуре и улагања у капацитете серијских и паралелних мрежа у оквиру некооперативног модела игре. Између осталог, аутори су анализирали утицај постојања федералног тела које одлучује о политици цена и улагања у капацитете дуж целог коридора. Аутори су закључили да постојање оваквог тела доводи до повећања вредности функције благостања у оквиру њиховог модела за све владе у посматраној мрежи.

## 4. ПРАВИЛА АЛОКАЦИЈЕ

Правила алокације за проблем железничког теретног коридора су изведена из концепта проблема транспортних мрежа развијених у Grahn-Voorneveld [4] који је прилагођен да одговара специфичним карактеристикама овог проблема.

**Дефиниција 1:** Проблем транспортне мреже је скуп *(N; v(S); TC; P)* који се састоји од:

- Укупан број влада дуж коридора $N \subset N$ ;
- Вредност *v(S)* је вишак који је настао као резултат сарадње;
- Вредност *TC* је укупни трошкови додељени за потребе коридора од сваког члана *N*;
- Вредност *P* је приход у случају без сарадње за сваког члана N.

Нека је *T* скуп свиһ проблема транспортних мрежа. Правило транспортне мреже је функција *φ* od *T* , која сваком проблему серијске мреже *(N; v(S); TC; P)* $\epsilon$ *T* додељује вектор *φ(N; v(S); TC; P)* $\epsilon$ $R^N$ , чиме се одређује ниво исплате за сваког члана скупа *N.* За ову врсту проблема уведена су три нова правила алокације:

- Пропорционално правило PR сваком *i* $\epsilon$ *N* додељује износ:

$$PR_i = \Pi_i + v(S) * \frac{TC_i}{\sum_{j=n}^{n} TC_j} \tag{4}$$

који представља вишак од сарадње подељен пропорционално трошковима сваке владе из коначног скупа влада $N \subset N$ ;

- Прилагођено пропорционално правило APR додељује сваком *i* $\epsilon$ *N* iznos:

$$APR_i = \Pi_i + v(S) * \left(\frac{1-\lambda}{n}\right) + v(S) * \lambda * \frac{TC_i}{\sum_{j=n}^{n} TC_j}, \lambda \in (0,1) \tag{5}$$

где се део профита $v(S)*(1-\lambda)$ равномерно распоређује између играча а преостали део $v(S)*\lambda$ пропорционално трошковима сваке од влада.

- Прилагођено правило једнаког профита AP додељује сваком *i* $\epsilon$ *N* износ:

$$AP_i = \Pi_i + TC_i + \frac{v(S) - \sum_{j=1}^{n} TC_i}{n} \tag{6}$$

где се свакој влади прво надокнађују њени трошкови, а затим се остатак добити подједнако дели међу свим владама.

Ова правила алокације задовољавају својства ефикасности чиме омогућује расподела укупно оствареног вишка и индивидуалне рационалности што обезбеђује да свака добије најмање онолико колико би добила у случају несарадње. Ова својства су пожељна својства за проблеме серијске транспортне мреже и препоручују се за проблеме овог типа [4].

## 5. ЗАКЉУЧАК

Постојеће управљање европским железничким коридорима карактерише недостатак сарадње и координација активности између влада и управљача инфраструктуре дуж коридора. Унапређење координације и сарадње између наведених учесника могуће је извршити кроз имплементацију теорије кооперативних игара. Главни фокус у оквиру примене кооперативне игре на коридору, у овом раду је на идентификацији и увођењу кључних компоненти за успостављање кооперативне игре.

Недостатак овлашћења која имају тела за управљање коридорима према постојећим прописима ЕУ, препознато је као главни предуслов за формирање кооперативне игре. Наплата прихода од продаје траса, односно од коришћења железничке инфраструктуре дуж коридора, од стране управљачких органа коридора кроз институцију *one stop shop* је предуслов за успостављање било којег модела кооперативне игре.

Претпостављајући претходно речено, у овом раду је формирана одговарајућа карактеристична функција за расподелу повећаних прихода оствареног кроз повећани обим саобраћаја на коридору услед повећане координације/сарадње у моделу кооперативне игре међу владама земаља дуж коридора. Да би се омогућила правична расподела повећаних прихода, предложена су и правила алокације прихода са намером подстицања влада да се активно укључе и ангажују у управљању коридором.

Фокус наставка истраживања биће на примени предложеног концепта у реалним оквирима, односно сценаријима и подацима уз процену ефикасности имплементације кооперативне игре за конкретне железничке теретне коридоре.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] De Borger, B., & Pauwels, W. (2010). A Nash bargaining solution to models of tax and investment competition: tolls and investment in serial transport corridors, Working Papers 2010/1. Institut d'Economia de Barcelona (IEB).

[2] De Borger, B., Dunkereley, F., & Proost, S. (2008). The interaction between tolls and capacity investment in serial and parallel transport networks. Review of Network Economics, 1-23.

[3] Gilles, P. R. (2010). The Cooperative Game Theory of Networks and Hierarchies. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

[4] Grahn-Voorneveld, S. (2011). Sharing profit in parallel and serial transport networks, Working papers in Transport Economics. Stockholm: CTS - Centre for Transport Studies Stockholm (KTH and VTI).

[5] Litman, T., (2021). Understanding Transport Demands and Elasticities – How Prices and Other Factors Affect Travel Behavior, Victoria Transport Policy Institute. Canada.

[6] Myerson, R. B. (1991). Game theory: analysis of conflict. Harvard University Press.

[7] Peleg, B. & Sudholter, P. (2003). Introduction to the Theory of Cooperative Games. Kluwer Academic Publishers, The Netherland.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# PERSUASIVE ADVERTISING AND PRICE COMPETITION FOR A MULTI-ATTRIBUTE PRODUCT

SOHEIL SIBDARI[1], VAHID MOJTAHED[2]

[1] University of Massachusetts, Dartmouth MA, USA ssibdari@umassd.edu
[2] Landmark Information Group, London, England, United Kingdom v.mojtahed@gmail.com

---

***Abstract:*** *We study the extend to which advertising distorts the price equilibrium of a product offered by two firms in a substitutable fashion. We explore whether, through advertising, the firms can reach higher equilibrium prices that can improve their long term profit. The products have different attributes and the customers value the products through assigning weights to each attribute. These weights can be impacted by firms' messages that we shall call persuasive advertising fro which we measure its long term impact on the profits. According to the market shares and depending on market formation (leader vs follower), we show the equilibrium price can increase, decrease, or stay the same as as a result of persuasive advertising. We show the existence and uniqueness of a Nash equilibrium in price and advertisement levels. We also introduce a seminal method to calculate the closed form solutions of the equilibrium price and advertising levels.*

***Keywords:*** *attitudes, multi attribute utility, persuasive communication (D01, M37, C72).*

---

## 1. INTRODUCTION

Competition among the producers of a product expands from pricing, quality, and after sale service levels and the firm announce their advantages through advertising. Considering different attributes of a product and assuming that one firm makes a better jb in one attributes over others, through persuasive advertising a firm tries to highlight its competencies in order to reach out more customers. This type of advertisement serve as a 'favorable notice' to some attributes of a commodity, which the firm believes will increase their market. They do this through what one can consider as 'stretching the truth' in a communication. The following examples better explain the persuasive advertising:

a) Computer geeks are always debating whether it is better to buy a generic computer with Windows operating system (OS) and strong hardware configuration or an Apple computer with Macintosh OS and weaker hardware configuration. It is seen that Apple advertises on their advantage, which is their OS, and then charge consumers with a higher price. They persuade consumers that the price they pay for a Mac is worth its higher price compared to other brands of personal computers or laptops. Similarly, rivals of apple advertise on their hardware configuration but they charge relatively a lower price for their products maybe because they are not as persuasive as Apple when it comes to advertising.

b) McDonald and Burger King have run different advertising campaigns with divergent slogans, and each pointing to one aspect of their products. For instance, Burger king as part of its campaign to differentiate itself by its cooking method picked the slogan "Feel the Fire" or "Fuel Your Fire". In response McDonald picked "What we're made of" to emphasize on the quality of their product and ingredients after being faced with a suit claiming that they hid the health risk of their Chicken McNuggets.

Our persuasive advertising approach is inspired by the seminal work of Reeves (1961). He categorized the successful marketing concept of "Unique Selling Point" (USP), twofold, into a distinguished trait that the firm publicize and the rest of traits. Reeves asserts that the successful advertising campaign of firms professes a unique proposition to the consumers and this persuades them to switch brands. In advertising campaigns, not only the firms introduces the attributes of their product (i.e. informative advertising), but also they try to send convincing messages that their product is the best in market (i.e. persuasive effect). Both types of advertising aim at changing the choice of consumers and increase the market share.

In this paper, we couple the persuasive advertising with price to model the competition of two firms in a duopolistic market. To ease the analysis, and without loss of generality, we consider only two attributes of the product each firm being competent in one of them. The customers' preferences are shown by subjective vector weights in the products' attributes space, which affects her deterministic choice function. These customers are rationally bounded as their initial choice can be manipulated by firms. We model this manipulation through a "communication" between the customers and the advertising firms that channelizes the way the customers attention will be distorted to the features of any of the firms. These communication channel adjusts the weight each customer assigns to the attributes, that can be accumulated over time and that repeated advertisements have more impacts. In persuasive advertising, the firms try to first shift the customers' attention to a certain aspect of the product and then enhance the objective perception of that aspect. The communicator's effort is to amplify those attributes of a product that it has an edge on because true eloquence is emphasis but false eloquence is exaggeration!

The firms try to maximize their profits over a two-stage game. In the first stage they advertise while in the second-stage they post their prices, both simultaneously. In our analysis we show that the firms act differently in these two stages. In the second stage, the firms assume their rivals are strategic complements and that they set their prices in an aggressive format, while in the first stage they may consider each other as substitute or complement depending on market shares. We define the firm with the highest share as "dominant" firm and other as the"subordinates." Subordinate firms are more restricted in their strategy set in order to maximize their profit in both stages of the game. These conditions are based on effectiveness of advertisement and objective characteristics of the products which is discussed in more detail in subsequent sections. Depending on the nature of the products and the features, the advertising effects can be correlated. The advertising can make a synergy impacts in a way that when a firm advertises it can positively impacts other firms value as they might share some attributes. As we only consider two attributes, one being highlighted by each firm, this synergic impact is beyond the scope of our paper, but our results will not influenced if one consider this correlation.

## 2. RELATED LITERATURE

The advertising literature is studies from different aspects in different fields. Advertising policies and their impacts are studied in different fields such as economics, operations management, computer sciences, psychology, and sociology. In economics alone, that is the initial interest of this paper, different branches study advertising in competition, industrial organization, utility theory, customer rationality.

One branch studies the effect of advertising on competition and deterring the entry of new firms. Related to this there are papers that study the effect of advertising on price competition. Advertising aims to shift the consumers' demand for firms' product that leads to a price competition given the crosselasticities and demand curve. For more on advertising and competition see the survey by Comanor and Wilson [1]. Our study sheds some light on this aspect and the fact that firms may set higher prices not only because of their advertising expenses, but also due to the attributes of their product and consumers preferences before advertisement takes place. A well known study on this topic is Schmalensee [9]. He presents a two-stage model of advertising as a way to deter entry. In his model, it is never optimal for the incumbent firm, the monopolist, to advertise more in order to deter the entry of new entrant.

Another branch that we based our study on is persuasive advertising. The persuasion used in advertising has common roots in both Psychology and Economics. In Psychology, there have been different definitions for persuasion. What has been common in all these definitions is the effort of a communicator to mold and change the attitude of the listener by transmitting a series of messages (verbal or non verbal; reasonable or non reasonable). The term ‘attitudes’ is also defined by many authors [2,7] but we follow the definition by Petty and Wegener [8], “Attitude is the overall evaluation of an object or issue by a person, and attitude change means that a person’s evaluation is modified from one value, often initial evaluation, to another”.

In Economics, Kaldor [3] was the first to hold the idea that advertising is manipulative and reduces competition, and therefore reduces welfare. Advertising would persuade consumers to believe wrongly that identical products are different, because the decision of which brand to purchase depends on consumers’ perception of it rather than the actual physical characteristics of the product. Therefore, prices of heavily advertised products would rise far beyond their cost of production. The literature of advertising as a signal containing information about attributes of a product goes back to Nelson [6]. Kihlstrom and Riordan [4], in a step ahead, modelled Nelson’s idea of market competition where advertising expenditure is a signal of quality such that high quality producers advertise more as they have a higher return to advertising. As McFadden [5] point out, attitude and perception affects market behavior as they change the choice probability of alternatives. The relation between attitudes and perception, on the one hand, and objective attributes, on the other hand, can be intervening or simply separable. In either case, objective attributes of products have an interconnection with psychological measurement.

Another branch of literature on advertising focuses on introductory advertising, the role of advertising to introduce a product to buyers. Investing in advertisement, in these models, will increase the demand for a product as the fraction of the market that knows the existence of a product will increase. Any type of advertisement serves more or less this function.

The paper is organized as following; in Section 2 we set the theoretical model for persuasion where firms compete to change the weights that consumers attach to attributes of each product. In Section 3 and 4, we prove the existence and uniqueness of equilibrium given some conditions for the subordinate firms. In Section 4.2, we undertake the comparative statics to study incentives of firms in response to change in strategies of rivals. Section 6 presents conclusion and final discussion.

## 3. MODEL

Two firms compete on selling their distinct, non-homogeneous, and substitute products in a duopolistic market. We label their respective products by an index $i = \{1, 2\}$, where firm $i$ sells product $i$. The selling price of product $i$ is $p_i$ that is only bounded below to zero. The firms produce the products with no capacity limitation while we normalize the marginal cost of production to zero. This assumption does not limit the model’s generalization as having positive marginal cost adds one more steps in our analysis but does not change the main results. The non-homogeneity of the products comes from their attributes (i.e. products features) that we assume is only twofold. The vector of measured attributes[1] of firm $i$ is denoted by $X_i = (x_i, 1-x_i)$ where $x_i \in [0, 1]$ and for the rest of this paper we assume that $x_1 > x_2$. This means that each firm has advantage in one of the attributes.

There is a continuum of potential consumers identical in tastes. The total mass of consumers is normalized to one for convenience. Consumers attach a vector of weights to the attributes of each product and the firm’s objective is to distort these weights in their favor through advertising. We assume that $w_i$ is independent from $w_j$ so that one firm’s advertisement will only affect the perception of its own product (relaxing these assumptions results in an interesting extension of this paper). We model the customers’ utility followed by [Lancaster, 1966] as an additive multi attribute utility that is defined over the set of attributes and weights. In fact, we consider the products’ characteristics (or properties) as the only source of utility instead of considering the goods as the direct object of utility. This way the products can be ranked through their characteristic's sets and that we will end up with a cardinal utility that exhibit a tradeoff among attributes. Using such a utility model, we can model the customer choices as if they have a consideration set that they make their choices from.

The firms advertise to bring the customers attention to their competencies using a given budget Ci while we assume the marginal cost of advertising is equal to one. This method of advertising is called reality distortion that assumes the products are evaluated objectively and the firms can influence customer choices through customer evaluation of attributes. In this type of advertising the firms convince audiences to distort their attribute scaling leading to select one product over another.

The values of weights wi are normalized to a [0, 1] interval. Evidently, if the weight is zero for any attribute then consumers do not care about that particular attribute. Therefore, the exante utility of buying one unit of product from firm i is: To model the utility function we normalize the value of the attributes to one and let the weights vary in [0, 1] interval. As customer pay pi to enjoy product i with features xi and 1 − xi, their utility is:

$$U_i = W_i X_i' - p_i = w_i x_i + (1 - w_i)(1 - x_i) - p_i, \qquad i \in \{1, 2\}$$

where the evaluation of attributes of a given brand excluding price is vector Xi. Customers compare the products features with their prices and will pick the one that has the highest balance. The weight attached to price is one since firms cannot obfuscate consumers with respect to it.

This representation of utility and our further interpretation of persuasion has similarities with Tversky (1972) seminal work on choice using elimination by aspect. In that framework, each alternatives owns a set of aspects and the consumer selects an aspect by random and eliminating alternatives without that aspect. The weights introduced in our utility works similar to random sampling of Tversky model standing for the probabilities that consumer will sample a certain aspect. As McFadden [5] points out, marketing intends to "modify the link between objective attributes of products and the con sumer's perception of them." A choice model is often constructed based on a mixture of objective attributes and psychological scales

Firms simultaneously send ads to consumers to change the weights that they have attached to the attributes of their products. Their budget of advertising is fixed to C¯i, and this is a common knowledge. It is intuitive that each firm tries to advertise by highlighting their best attributes and comparing with that of others'. We use a continuous variable γi to show the firm i advertising strategy while the vector of joint advertising strategies is denoted by Γ = (γ1, γ2). In the following, we introduce a new variable that better shows the impact of advertising on the customer utility.

Definition 1: We define advertisement as a communication function φi : wi × γi 7→ [0, 1] for firm i, twice continuously differentiable and increasing concave function of γi, according to which the subjective weights of consumers wi for product i is updated after each round of advertising. Therefore the utilities after advertising become:

$$U_i = \phi_i(w_i, \gamma_i) x_i + (1 - \phi_i(w_i, \gamma_i))(1 - x_i) - p_i, \quad i \in I$$

The communication function, in general, may be different among firms. Firms usually make efforts in creating and sending ads that are more sophisticated to influence their viewers even more. Some firms might use TV, journals, and Internet as their means of communication since they believe they are more effective by having a larger number of viewers or deeper mental effects. Moreover, they know that writing ads is a skill, and there are important aspects regarding making it including wording, graphics coloring, placement, etc. For the sake of simplicity, we assume that firms use the same technology and means of communications, and hence they have the same form of communication function. The effectiveness of communication function also depends on how sophisticated or naïve are consumers. If consumers are manipulated easily by advertisement, they are more naive. In advertising literature, Pretesting3 is a branch of market research for analyzing the effectiveness of ads before releasing them. They can analyze the ads and direct the flow of attention during a commercial. (Young, 2005). Increasing concavity of φ implies that the weights will increase with each additional ad up to a given level (inflection point) but then it becomes weaker or in another words they show diminishing return to scale. This is the point where consumers are fed up with the advertisement and will not believe them any more (Becker and Murphy, 1993).

Definition 2.2 Firm i is able to persuade4 consumers to buy its product among all alternatives by maximizing the probability of selecting its product meaning:

$$q_i(\gamma_i, p_i) = \frac{e^{\phi_i(w_i,\gamma_i)x_i + (1-\phi_i(w_i,\gamma_i))(1-x_i) - p_i}}{\sum_{i=1}^{I} e^{\phi_i(w_i,\gamma_i)x_i + (1-\phi_i(w_i,\gamma_i))(1-x_i) - p_i}}$$

Ties are broken symmetrically between firms. By Equation (3), we see that probability of selling one item by firm i, qi, is monotonically decreasing in its price but increasing in γi. We can interpret qi as the market share of each firm. As mentioned before, the crucial assumption of our model is that consumers attach two different weight vectors to attributes of firm's one and two products. This assumption guarantees that advertisement of a firm, on any attribute, will not change the evaluation of consumers of the other product directly. If the weights were the same w1 = w2 = w, any effort of one firm in promoting one attribute of the commodity would also increase the perceived evaluation of consumers from the other product.

The objective of firms is to maximize their profit by succeeding in selling their product. The payoff function for firm i is:

$$\max_{p_i,\gamma_i} \pi_i = p_i.q_i - \gamma_i,$$

where qi is defined in (3). The reward for additional efforts of advertising and persuading a consumer is the possibility of selling another unit of product and securing pi. This relation clearly point out to the fact that a setting a higher price for each firm requires more effort in shifting the attention of the customer.

Our game is is part of the class of supermodular games [1,]Vives,1990, Milgrom and Roberts, 1990). Supermodular game is a class of games that (1) players strategy set is partially ordered, (2) each player's marginal return increases with other players higher strategy (known as strategic complement). This characterization provides a solution concept for determining the Nash equilibrium without a need for convexity or connectivity of the domain as well as concavity of the payoff functions. What is important is the order structure of the lattice of strategy space. This order does not need to be forward and we can have one player's strategy in reverse order (Milgrom and Roberts, 1990). Since we are interested in proving the existence of subgame perfect Nash equilibrium, we need to have an order on the strategy profile of players in two subgames and the payoff functions satisfying "single crossing condition“ (Echenique, 2002). This property is equal to saying that payoff functions have increasing differneces in actions,ai, and some parameter,τi,from a partially ordered set. We list the following lemma without proofs (available by request).

**Lemma 1:** The price and advertisement sets are complete lattices. They are also convex, closed and bounded and hence compact.

**Lemma 2:** The profit function of firms are continuous in pi and γi and bounded.

**Lemma 3:** The profit functions are supermodular

**Lemma 4:** The profit functions satisfies single crossing property.

### 3.1. PRICE COMETITION

Our analysis is based on a two-stage, noncooperative duopoly. In the first stage, each firm commits itself to a level of advertisement on the attribute in which it is better. At the end of this stage, each firm observes the advertisement of others and chooses the price of its product. The strategies of firms specify actions that have to be taken in each stage.

We may now define the solution concept. Like any non-cooperative game, we investigate the set of open loop Nash equilibrium and therefore use the concept of Perfect Equilibrium. A 4-tuple of strategies is a Perfect Equilibrium in the two stage game, if, after each stage, that part of firms' strategy relating to the game consisting of the stage that remains, form a Nash Equilibrium in that game. To study such Perfect Equilibrium, we begin, therefore, by analyzing the final stage of the game, which is being the choice of price given the advertisement in the previous stage, and then fold back to determine firm's optimal level of advertisement in the first stage. Each firm chose a price to maximize its own profit, taking as given the price of other firm. Notice that the underlying game is a smooth supermodular game based on Lemmas 2.3 to 2.6 (see Milgrom and Roberts, 1990).

### 3.1. THE PRICE-ADVERTISING INTERACTION

Advertising is an effective tool to induce demand and increase firms profitability. It enables customers to view different aspect of the product or to highlight one or more attribute of a product. Not only the general demand increases by advertising, but also the customers willingness-to-pay might be increased upon advertisements, which can be another opportunity for firms' profitability (see Comanor and Wilson [6] and Porter [6]). In this section, we study to what extend the firm can take advantage of aggressive pricing upon advertisements. As we set up our model into two stages, the firms first advertise and then through pricing in the second stage position their market shares and eventually their demand. In this section, using comparative statics of our model, we study how firms react to changes in price and advertisement of their rivals, and how this impacts their profitability.

## 4. CONCLUSIONS

We show that in the game of attribute-based persuasion in advertising there exist an optimal advertising strategy of advertising and price. Our principal finding concerns the presence of strategic complementaries and substitutes in agent's payoff function based on some initial conditions. We have shown that firms' optimal strategies to advertise depend on their market share and the characteristic of products. If a firm has less than half of the market share, the advertising of them become submodular and if he has more than one half of the market share, the strategies are supermodular in the first stage of the game. In the second stage of the game, the strategies (setting prices) become supermodular. The consumers become captive if firms advertise in the first stage, which enables them to charge prices higher than marginal cost of production in the subsequent stage.

## REFERENCES

[1] Comanor, W. S., and Wilson, T. A. The effect of advertising on competition: A survey. Journal of Economic Literature 17, 2, 453–476.

[2] Fazio, R., Powell, M., and Williams, C. The role of attitudes accessibility in the attitude-to-behavior process. Journal of Consumer Research 16, 3, 280–288.

[3] Kaldor, N. The economic aspects of advertising. The Review of Economic Studies 18, 1, 1–27.

[4] Kihlstrom, R. E., and Riordan, M. H. Advertising as a signal. Journal of Political Economy 92, 3, 427–450.

[5] McFadden, D. Econometric models for probabilistic choice among products. The Journal of Business 53, 3, S13–S29.

[6] Nelson, P. Advertising as information. The Journal of Political Econ- omy 82, 4, 729–754.

[7] Perloff, R. M. The dynamics of persuasion: communication and attitudes in the 21st century. Lawrence Erlbaum.

[8] Petty, R. E., and Wegener, D. T. The handbook of social psychology, 5th ed., vol. 1 and 2. McGraw-Hill.

[9] Schmalensee, R. Advertising and entry deterrence: An exploratory model. Journal of Political Economy 91, 4, 636–653.

# УПРАВЉАЊЕ ПРОИЗВОДЊОМ

# PRODUCTION MANAGEMENT

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# PRODUCTION MANAGEMENT: OPTIMIZATION OF PRODUCTION MANAGEMENT PROCESSES FOR ENHANCED EFFICIENCY AND COST REDUCTION

EDEH CHUKWUEBUKA PAUL[1], OSADIAYE PATIENCE EJOMAFUWE[2]

[1] Brewing Sciences Department, Lead City University, Osun Nigeria, edeh112@hotmail.com
[2] Brewing Sciences Department, Lead City University, Osun Nigeria, julyvee40@gmail.com

---

***Abstract:*** *This paper focuses on the optimization of production management processes to improve efficiency and reduce costs in manufacturing operations. The study utilizes various techniques, including mathematical modeling, graphical analysis, and data tabling, to develop strategies that can enhance production performance. The paper also provides a comprehensive review of relevant literature and incorporates proper referencing to support the findings.*

***Keywords:*** *Cost Reduction, Data Tabling, Efficiency, Graphical Analysis, Inventory Management Mathematical Modeling, Optimization, Production Management, Production Planning, Scheduling.*

---

# ФИНАНСИЈЕ И БАНКАРСТВО

# BANKING AND FINANCE

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ЗНАЧАЈ ИЗВЕШТАВАЊА РЕВИЗОРА О ОГРАНИЧЕНОМ ПРЕГЛЕДУ ИЗВЕШТАЈА О ОДРЖИВОМ РАЗВОЈУ ЕВРОПСКИХ ЈАВНИХ ПРЕДУЗЕЋА

# THE SIGNIFICANCE OF THE AUDITOR'S REPORT ON THE LIMITED REVIEW OF REPORTS ON THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF EUROPEAN PUBLIC ENTERPRISES

АЛЕКСАНДАР САВИЋ[1], МИЛАН МИХАЈЛОВИЋ[2], МИЛАН МИЛУНОВИЋ[3]

[1] Војнотехнички институт, Београд, aleksandar22071993@gmail.com
[2] Војна академија, Београд, milan.mih83@gmail.com
[3] Војна академија, Београд, 0208luna@gmail.com mailto:vgi@vs.rsmailto:vgi@vs.rs

---

***Резиме:*** *У многим европским земљама извештавање о одрживом развоју се сматра обавезним. У последње време је све већи значај људске свести о заштити животне средине и опстанку човечанства у будућности. Основни захтеви одрживог развоја се не примењују само на европска предузећа, већ на предузећа широм света. Предузећа обелодањују извештаје о одрживом развоју, као и финансијске и годишње извештаје. Све је већи број јавних предузећа која извештавају о одрживом развоју и која имају потребу да ангажују ревизора и обелодане ревизорске извештаје о ограниченом прегледу извештаја о одрживом развоју. У овом раду коришћена је квалитативна дескриптивна анкетна техника. Подаци су прикупљени из доступне литературе и запажања њихових аутора.*

***Кључне речи:*** *извештавање, ревизија, одрживи развој и ограничени преглед.*

***Abstract:*** *In many European countries, reporting on sustainable development is considered mandatory. Recently, the importance of human awareness about environmental protection and the survival of humanity in the future has been increasing. The basic requirements of sustainable development do not only apply to European companies, but to companies all over the world. Companies disclose reports on sustainable development, as well as financial and annual reports. An increasing number of public companies that report on sustainable development need to hire an auditor and disclose audit reports on a limited review of sustainable development reports. In this paper, a qualitative descriptive survey technique was used. Data were collected from available literature and observations of their authors.*

***Keywords:*** *reporting, auditing, sustainable development and limited review.*

---

## 1. УВОД

Један од главних изазова у области рачуноводства је одрживост, која је започета неразумевањем дефиниције одрживог развоја. Други изазов су проблеми у усклађивању ревизије и предузећа као крајњи циљ. Предузећа су основана са циљем максимизације профита и она се посматрају као вид улагања у модални капитал. Иако су нека истраживања показала да одржива пословна пракса може да надокнади заостајање, како би на тај начин промовисала већу дугорочну профитабилност и одржала очигледан стварни однос, обе организације (предузеће и ревизорска кућа) треба да размотре факторе који се сматрају све важнијим. Да би извештавале о својим активностима, предузећа би требало да покажу своју посвећеност друштвено одговорном пословању (ДОП) на следеће начине: учешће на високом нивоу (борд директора), инвестициона политика, програм, потписници добровољних стандарда, принципи (Глобални договор УН), извештаји GRI (Global reporting initiatives).

У истраживању које је спровео [1], заснованом на *balanced scorecard* (BSC) пракси, BSC стратегија је имплементирана за мерење и подршку одрживим праксама у предузећу, због чега се концепт назива BSC одрживост. То значи да нису само финансије у сржи BSC стратегије, већ су и друштвени и еколошки циљеви интегрисани (попут бившег концепта GRI, али њихово мерење и стратегија кроз BSC приступ), или другим речима, одрживост BSC је интегрисана.

Многи аутори истичу да се појам одрживи развој заснива на концепту *Triple bottom line* (TBL). Године 1988. уведен је концепт TBL или концепт 3П – људи (енгл. *people*), планета (енгл. *planet*) и профит (енгл. *profit*). Укратко, три димензије које мере вредност пословног успеха предузећа користећи три критеријума: економски, еколошки и друштвени. У ствари, овај приступ се широко примењује од 2007. године, јер су сва јавна предузећа увелико почела да користе метод обрачуна трошкова. У предузећима приватног сектора, примена корпоративне друштвене одговорности је такође облик имплементације *calls to action* (CTA). Концепт TBL подразумева да предузећа дају приоритет интересима стејкхолдера (свим странама на које активности предузећа утичу) над интересима акционара. Дизајниран је у интерним циљевима предузећам, како би их учинио свесним потреба за нетржишним факторима вредновања, односно интеграцијом природног капитала у њихов пословни капитал. Такође ревизија треба да буде у могућности да пружи заинтересованим странама процену након имплементације, као у истраживању које је спровео [2].

На основу претходних истраживања, у овом истраживању формулисани су следећи проблеми:

- Које су обавезе предузећа према извештавању о одрживом развоју?
- Зашто је неопходна ревизија извештаја о одрживом развоју?
- Како изгледа верификација извештаја о одрживом развоју?
- Које су предности и слабости ревизије извештаја о одрживом развоју?

Циљ истраживања је да пружи информације о извештавању о одрживом развоју јавних европских предузећа и утврди потребе за вршење ревизије извештаја о одрживом развоју.

Теоријске користи истраживања дају веће знање и референце у вези са сликом извештаја о одрживом развоју, док практичне користи побољшавају квалитет извештаја о одрживом развоју.

## 2. ИЗВЕШТАВАЊЕ О ОДРЖИВОМ РАЗВОЈУ

Квалитет презентовања информација које прикупља менаџмент је кључни фактор у изградњи поверења и односа са стејкхолдерима. Извештај о одрживом развоју има позитиван утицај, не само на стејкхолдере, већ и на менаџмент и компанију интерно. [3] наводи да су извештаји о одрживом развоју медији и средство за менаџмент да покаже стејкхолдерима учинак и резултате компаније. Пажња јавних предузећа о значајности извештавања о одрживом развоју треба да буде усмерена путем GRI процене. Предузећа треба да буду у стању да процене примену и валидност извештаја о одрживом развоју. [4] тврде да искрено и транспарентно објављивање информација о друштвеним и еколошким активностима утиче на вредност предузећа, а тиме и на пословне одлуке које доносе стејкхолдери.

Концепт TBL на којем почива извештавање о одрживом развоју се фокусира на све аспекте пословања, не само на профит, већ и на припрему и очување земаљских екосистема у будућности. Опис TBL или концепт 3П укључује:

- Људе (енгл. people) – Тежиште на људске ресурсе кроз заштиту радних права и дужности и поштовање важећих прописа о раду. Предузећа треба да буду у стању да

понуде пристојне плате и радно време и да пруже здравствене и образовне услуге за радну снагу.
- Планету (енгл. planet) - Проблемско подручје везано за уштеду енергије. Реч је о минимизирању отпада, тако што ће се он унапред третирати на начин да не штети животној средини и екосистему, који утиче на квалитет живота људи.
- Профит (енгл. profit) - Истиче се да предузеће не треба да тежи само профиту, већ треба да ствара фер и етичку трговину у свом пословању.

Веома значајна активност код извештавања о одрживом развоју је извештавање ревизорске куће о извештају о одрживом развоју. На тај начин се извештај о одрживом развоју допуњује посебним елементом на крају извештаја, што пружа стејкхолдерима додатне информације у вези веродостојности и валидности обелодањених података о којем ће бити више речи у наредном делу рада.

## 3. РЕВИЗИЈА ИЗВЕШТАЈА О ОДРЖИВОМ РАЗВОЈУ ЕВРОПСКИХ ПРЕДУЗЕЋА

Ревизија извештаја о одрживом развоју укључује прикупљање аутоматизованих индикатора ревизије и доказа о трансакцијама, процесима, контролама и информационим системима предузећа од стране интерних или екстерних ревизора у одређеним интервалима. Ревизија извештаја о одрживом развоју се може користити као систем раног упозорења за утврђивање недостатака раније спроведене контроле, која користи традиционалније приступе него ревизија. По извршеној ревизији ревизори сачињавају извештај о ограниченом прегледу извештаја о одрживом развоју у којем износе своја запажања. Ревизија извештаја о одрживом развоју се разликује од континуираног праћења. Континуирано праћење је аутоматски механизам повратних информација за менаџмент како би се осигурало да контроле и системи правилно функционишу у складу са процесима дизајна и трансакција [5]. Менаџмент може да користи ове информације да направи нове аранжмане за нову ревизијску активност коришћењем анализе да идентификује недостатке у учинку или необичне трансакције које могу да указују на неуспех контроле. Стално праћење је корисно у пружању користи менаџменту и развоју пословања повећањем способности праћења и управљања окружењем без угрожавања оптималног учинка пословања.

Према [6], Certified Sustainability Reporting Specialist (CSRS) се такође користи као додатна инфраструктура за извештавање о одрживом развоју. CSRS је одговоран за припрему извештаја о одрживом развоју представљањем стварних активности компаније.

Најновија и свеобухватна иницијатива која се користи код извештавања о одрживом развоју је Global Reporting Initiative (GRI), која укључује све три димензије одрживог развоја - социјалну, еколошку и економску. Ова иницијатива се сматра смерницом извештавања о одрживом развоју. GRI стандарди састоје се од четири главна дела: економски, еколошки, социјални и стандарди корпоративног управљања. Сваки стандард има подстандарде и смернице.

У европским земљама постоје прописи за пословне активности које се односе на еколошка и социјална питања, укључујући Партнерство за развој животне средине. У том циљу, европска предузећа су почела да обелодањују извештај о одрживом развоју, како би показала своју одговорност у развоју друштвених и еколошких активности и своју способност да буду одговорни према стејкхолдерима.

У истраживању које су спровели [7], а у вези процене квалитета извештавања о одрживом развоју у јавним европским предузећима истиче се да инвеститори сматрају да предузећа нису предузела све напоре како би се обелоданиле све нефинансијске информације.

# 4. ПОТРЕБЕ ЕВРОПСКИХ ПРЕДУЗЕЋА ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ РЕВИЗОРСКИХ ИЗВЕШТАЈА О ОГРАНИЧЕНОМ ПРЕГЛЕДУ

Извештај о одрживом развоју је извештај који предузеће припрема за мерење, обелодањивање и извештавање о напорима и одговорности предузећа према стејкхолдерима, а у вези управљања показатељима одрживог развоја. Процес извештавања о одрживом развоју спроводи се кроз 5 корака [8], и то:

- Састављање корпоративних смерница - У овом случају, предузеће креира политике везане за одрживи развој, а затим их објављује онако како се појављују.
- Притисак на ланац снабдевања - Очекивање јавности да предузеће обезбеди еколошки прихватљиве производе и услуге врши додатни притисак на предузеће да производи стандарде учинка и објављује извештаје о одрживом развоју за своје добављаче.
- Укључивање стејкхолдера - Потреба за укључивањем и подршком свих релевантних учесника.
- Добровољни кодови - У овом механизму, заједница подстиче предузећа да развију аспекте перформанси одрживог развоја и захтева од предузећа да извештавају о примени димензија одрживог развоја. Ако предузеће још није имплементирало димензије одрживог развоја, за то мора да да посебну изјаву.
- Остали кораци се односе на рејтинг и бенчмаркинг, порезе и субвенције, размењиве дозволе и обавезе и ограничења.

Извештаји о одрживом развоју се могу објављивати одвојено од годишњих извештаја. Поједини разлози зашто предузећа извештавају о одрживом развоју одвојено од годишњих извештаја су:

- Извештај о одрживом развоју је средство комуникације са стејкхолерима како би се пренела порука да предузеће ефикасно управља основним димензијама одрживог развоја.
- Извештавањем о одрживом развоју се стејкхолдерима преноси добра (позитивна) слика о предузећу.
- Стејкхолдерима се пружају додатне информације, које нису доступне у годишњим извештајима.

Поред извештавања о одрживом развоју, предузећима је много битно да обелодане и извештај ревизора о извршеној ревизији извештаја о одрживом развоју. На тај начин они пружају додатну сигурност стејкхолдерима, уверавајући их да су извештаји предузећа о одрживом развоју валидни и регуларни. Ревизија извештаја о одрживом развоју има за циљ да пружи свеобухватну слику корпоративног управљања, фокусирајући се на корпоративно управљање, учинак и извештавање у контексту одрживог развоја [9]. Извештај ревизора односно извештај о ограниченом прегледу извештаја о одрживом развоју европских предузећа има следеће специфичне циљеве:

- Да процени како предузећа идентификују питања одрживог развоја која су у складу са њиховим активностима.
- Да захтева од менаџмента предузећа да извештава и о другим питањима везаним за пословање, а који су од значаја за стејкхолдере.
- Да спроведе процену валидности обелодањених информација у извештају о одрживом развоју.

Такође, извештај ревизора о ограниченом прегледу извештаја о одрживом развоју се не користи само за процену информација о одрживом развоју које пружа менаџмент, већ може бити користан и за интерне процесе предузећа. Интерне користи које предузеће има од извештаја о ограниченом прегледу извештаја о одрживом развоју су побољшање пословних и перформанси одрживог развоја и процена комерцијалних активности предузећа у односу на ефекте изазване комерцијалним активностима.

Основне предности ревизије извештаја о одрживом развоју и обелодањивање извештаја ревизора о ограниченом прегледу извештаја о одрживом развоју су: упоређивање сопствене праксе са најбољим праксама у индустрији, планирање, структурирање и одређивање одговорности предузећа и његовог менаџмента, идентификовање нове иницијативе за одрживи развој, одређивање временског периода праћења пословања између предузећа и побољшање перформансе одрживог развоја (усклађеност, репутациони ризик, конкурентска предност и иновације).

Недостаци ревизије извештаја о одрживом развоју се огледају у упоредивости, трошковима и контрадикцији критичара. Упоредни изазови укључују процену и мерење одговарајућих еколошких и друштвених активности предузећа и интеграцију информација у финансијска мерења којима се извештавају стејкхолдери. Када се говори о трошковима мисли се на трошкове који су укључени у прикупљање информација, организовање и извештавање. Контрадикција критичара може бити мала, пошто тренд наставља да расте у популарности и свако ко има смисла треба да препозна потенцијалне етичке проблеме из прошлости, које је идентификовала компанија и да предузме корективне мере.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Извештавање о одрживом развоју је резултат процеса рачуноводственог система како би се поред управљања финансијским системом известило и о начину управљања перформансама одрживог развоја. Међутим, да би извештај био размотрен и пружио сигурност стејкхолдерима, он мора бити предмет ревизије одрживог развоја, која испитује и оцењује да ли је представљени извештај у складу са стварним активностима предузећа.

Извештаји ревизора о ограниченом прегледу извештаја о одрживом развоју европских предузећа имају многе предности у смислу смањења времена потребног за комплетирање финансијских средстава и извештавања у различитим земљама, убрзавања процеса прегледа и олакшавања рада ревизора. Овакво извештавање ревизора захтева свест о изазовима предузећа, на основу различитих истраживачких извештаја, убрзавајући и олакшавајући процес прегледа свих битних активности и процеса предузећа од стране стејкхолдера. Извештаји о ограниченом прегледу извештаја о одрживом развоју постају све важнији у глобалној пословној пракси и један су од критеријума за процену друштвене одговорности предузећа. Менаџери у глобалној економији су све више свесни да ће свеобухватније извештавање подржати корпоративну стратегију. Такође они показују своју посвећеност одрживом развоју и побољшавају финансијски учинак и легитимитет предузећа. Предлог свим јавним европским предузећима је да објављују извештаје о одрживом развоју у складу са важећим стандардима и да анагажују независну ревизорску кућу која се спровести ревизију извештавања о одрживом развоју у складу са важећим ревизорским стандардима. Тако процес извештавања о одрживом развоју не би био само формалност већ заправо корист целе индустрије у европским земљама.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Aliakbari, N. F., Shafiei, N. M., and Olfat, L. (2019). Developing the framework of sustainable service supply chain balanced scorecard (SSSC BSC). *Int. J. Product. Perform. Manag.* 68 (1), 148-170. http://dx.doi.org/10.1108/IJPPM-04-2018-0149

[2] Symeonaki, E., Papoutsidakis, M., Tseles, D. and Sigala, M. (2016). Post Implementation Evaluation of a University Management Information System (UMIS). *Third International Conference on Mathematics and*

*Computers in Sciences and in Industry (MCSI)*, 14–19. http://dx.doi.org/10.1109/MCSI.2016.014

[3] Rusmanto, T. and Williams, C. (2015). Compliance Evaluation on CSR Activities Disclosure in Indonesian Publicly Listed Companies. *Procedia - Soc. Behav. Sci.* 172, 150-156. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.348

[4] Ioannou, I. and Serafeim, G. (2019). Corporate Sustainability: A Strategy? *SSRN Electron. J.,* Harvard Business School Accounting & Management Unit Working Papet No. 19-065. https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3312191

[5] Al-Shaer, H. and Zaman, M. (2018). Credibility of sustainability reports: The contribution of audit committees. *Bus. Strateg. Environ.*, 27 (7), 973-986. https://doi.org/10.1002/bse.2046

[6] Kurniawan, P. S. (2017). Profesi Certified Sustainability Reporting Specialist, Pelaporan Keberlanjutan, Dan Teori Enterprise (Suatu Tinjauan Mengenai Profesi CSRS dalam Pelaporan Keberlanjutan). *J. Ilmu Sos. dan Hum.*, 6 (1). https://doi.org/10.23887/jish-undiksha.v6i1.9478

[7] Toppinen, A., and Korhonen-Kurki, K. (2013). Global Reporting Initiative and social impact in managing corporate responsibility: a case study of three multinationals in the forest industry. *Business ethics: A European review*, 22(2), 202-217. http://dx.doi.org/10.1111/beer.12016

[8] Ernst & Young and Boston College Centre (2014). Value of sustainability reporting – A study by EY and Boston College Center for Corporate Citizenship. *EYGM Ltd.*

[9] Goicoechea, E., Gómez-Bezares, F. & Ugarte, J. V. (2019). Integrated reporting assurance: Perceptions of auditors and users in Spain, *Sustainability,* 11 (3). https://doi.org/10.3390/su11030713

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# МОДЕРНИЗАЦИЈА СИСТЕМА ОДБРАНЕ И БУЏЕТСКА ПОЛИТИКА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

БОЈАН ЊЕГОМИР[1], СЛАЂАНА РАКОЊАЦ [2], ВОЈИСЛАВ СТЕВАНОВИЋ [3]

[1] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, bnjegomir@gmail.com
[2] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, sladjana.rakonjac95@gmail.com
[3] Управа за ОИП, Београд, voja.stev@gmail.com

---

***Резиме:*** *Савремени безбедоносни изазови у свету као и у непосредном окружењу требало би да опредељују величину буџетских средстава која се користе за финансирање расхода система одбране, поготово за његову модернизацију. Екомија Републике Србије у протеклом периоду показује побољшање битних макроекономских показатеља што у великој мери утиче на улагања у систем одбране, а пре свега на модернизацију наоружања и војне опреме. У овом раду показаћемо везу између буџетских средстава и расхода система одбране, као и да модернизација система одбране директно утиче на привреду Републике Србије кроз развој наменске индустрије.*

***Кључне речи: Буџет, расходи система одбране, модернизација****.*

*Abstract: Contemporary security challenges in the world as well as in the immediate environment should determine the size of the budget funds that we use to finance defense system expenditures, especially for its modernization. The economy of the Republic of Serbia in the past period shows an improvement in important macroeconomic indicators, which greatly affects investments in the defense system, and above all, in the modernization of weapons and military equipment. In this study, we will show the connection between the budget and expenditure of the defense system, as well as that the modernization of the defense system directly affects the economy of the Republic of Serbia through the development of dedicated industry.*

***Keywords:*** *Budget, defense system expenditures, modernization.*

---

## 1. УВОД

Током бурне историје важну улогу у очувању свог националног индетитета и суверенитета имао је систем одбране, тачније њена војска, можда не у врху листе најбоље опремљених и наоружаних, али увек довољно храбра, одважна и спремна да брани свој народ. Период којим ће се рад бавити је од 2010 па надаље са акцентом на другу половину друге деценије 21. века у којој Србија бележи значајнији привредни раст. Од тог момента почиње значајније улагање у модернизацију система одбране у складу са новонасталим потребама и условима који одређују укупност односа како на локалном тако и на регионалном па и глобалном плану. Када говоримо о систему одбране морамо напоменути да се у овом раду мисли на његове делове, а то су министарство одбране (МО) и Војска Србије (ВС). Модернизација се може посматрати из угла технолошке модернизације, посебно наоружања и опреме, али и из угла савременог управљања људским ресурсима.

Да би један систем одбране био стабилан то захтева адекватно улагање новчаних средстава која се морају обезбедити из буџета државе, такође модернизација се мора реализовати са већим ослањањем на сопствене научно истраживачке капацитете и наменску индустрију. Из буџетских средстава се финансирају и расходи система одбране који су због ратних дешавања деведестих година прошлог века, када је велики број припадника српске националности који су радили у некадашњој ЈНА дошли на територију Србије што је представљало лимитирајући фактор приликом финансирања система одбране (70 процената буџетских средстава намењених финансирању средстава одбране било је везано за обезбеђење егзистенције и стандарда официра, подофицира, цивилних лица на служби у војсци, војника на служењу војног рока војних пензионера).

У складу са Дугорочним планом развоја система одбране (ДПРСО), да би се створили услови за ревитализацију способности Војске Србије за извршавање мисија и задатака, за буџет система одбране је потребно обезбедити издвајања најмање 2 процента бруто домаћег производа.

Министарство одбране Републике Србије, као директан буџетски корисник, има своје обавезе у процесу планирања и доношења буџета. Министарство надлежно за послове финансија планира буџетску ликвидност готовинских токова буџета на основу примања и издатака, у оквиру планова за извршење буџета, које припремају систем одбране и остали директни корисници буџетских средстава, у складу са методологијом и у роковима који су прописани од министра надлежног за послове финансија (Кнежевић, 2011).

Ако посматрамо другу деценију 21.века можемо закључити да је до 2011. године издвајано 2 процента БДП, да би у 2012. години када је усвојен први буџет након укидања обавезног служења војног рока дошло до пада процента на 1,88, са даљом тенденцијом пада и његовом најнижом вредношћу у 2015. години – 1,48 процената. Након тог периода долази период постепеног раста, али и даље ниже од планираних 2 процента.

Трошкови министарства одбране се деле на персоналне, оперативне и трошкове инвестиција. У "Белој књизи одбране" је пројектовано да финансирање система одбране обезбеди изградњу потребних способности и елемената система одбране, уз што повољнију структуру трошкова, коју ће чинити персонални трошкови 50 процената, оперативни 30 и инвестициони 20. Већ дуги низ година је та структура нарушена што можемо видети у табели испод.

**Табела 1:** Структура одобрених средстава МО у периоду од 2009 до 2019. године

| | **2009** | **2010** | **2011** | **2012** | **2013** | **2014** | **2015** | **2016** | **2017** | **2018** | **2019** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ПЕРСОНАЛНИ ТРОШКОВИ | 37,5 | 38,3 | 40,9 | 57,8 | 64,2 | 59,7 | 57,2 | 47,3 | 49,9 | 43,4 | 42,3 |
| ОПЕРАТИВНИ ТРОШКОВИ | 52,2 | 49,9 | 48,6 | 28,1 | 26,8 | 30,5 | 29,0 | 33,8 | 32,9 | 26,0 | 20,7 |
| ИНВЕСТИЦИОНИ ТРОШКОВИ | 10,3 | 11,8 | 10,5 | 14,1 | 8,9 | 9,8 | 13,8 | 18,9 | 17,2 | 30,6 | 37,0 |

У горе наведеној табели можемо видети да кретање структуре трошкова није у складу са поменутим Дугорочним планом развоја система одбране и Белом књигом одбране. Може се уочити да је једино 2017. године структура трошкова била приближно на идеалном нивоу.

Издвајање средстава за систем одбране, од формирања Републике Србије као самосталне државе, било је углавном недовољно из године у годину, уз константну присутност рестриктивног финансирања. Светска финансијска криза крајем прве деценије 21. века је додатно погоршала већ довољно тешку ситуацију јер је реална вредност средстава намењених за одбрану бивала све мања из године у годину.

План извршења буџета одбране представља преглед планираних примања система одбране према извору финансирања и преглед планираних издатака. Систем одбране, поред прихода из буџета, за одређене расходе или издатке остварује и приходе из других буџетских извора (Жугић, 2008).

Период од 2010 до 2020. године карактерише континуирани раст новчаних средстава за финансирање расхода одбране. Тако је у 2019. години министарству одбране одобрено рекордних 95,1 милијарди динара, што је значајно веће од износа 82 милијарде динара одобрених у 2011. години. Овакав тренд буџетских издвајања омогућио је да стремљења ка модернизацији система одбране, са акцентом на модернизацију наоружања и војне опреме буду засноване на реалним финансијским основама.

## 2. ИЗДВАЈАЊА ИЗ БУЏЕТА ЗА МОДЕРНИЗАЦИЈУ СИСТЕМА ОДБРАНЕ

У овом делу рада ћемо анализирати ставке у буџету које се односе на модернизацију наоружања и војне опреме, као и осталих машина и опреме које се користе у систему одбране. Протекли период можемо посматрати у 2 дела и то од 2010 до 2015. године и од 2015. године до данас. До 2015. године имамо издвајања из буџета само за машине и опрему која се користе у неборбеном делу система одбране, односно средства која не улазе у категорију наоружања и војне опреме. Као што можемо видети у табели број 2, тек на крају овог периода се појављује категорија модернизације авиона. То је период већих издвајања за персоналне трошкове, односно покушај побољшања стандарда припадника система одбране. Такође финансирању система одбране није ишло на руку што се после 2012. године приходи које су остваривали поједини ентитети система одбране нису сврставали у категорију општих прихода буџета. Тај проблем је делимично решен 2013 и 2014. године.

**Табела 2:** Преглед одређених ставки буџета МО у периоду 2010-2015. година

| | **2010** | **2011** | **2012** | **2013** | **2014** | **2015** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Машине и опрема | 4.440.590.000 | 3.912.693.000 | 4.337.814.000 | 1.813.689.000 | 3.867.398.000 | 3.765.768.000 |
| Модернизација авиона | - | - | - | - | - | 23.000.000 |

Период од 2015. године када се појављују нове ставке у буџету, као буџетски фондови и програмске активности које су у директној или индиректној вези са модернизацијом система одбране, као што су:

- Буџетски фонд за наоружање и војну опрему
- Буџетски фонд за потребе војног образовања и војно истраживачке делатности
- Буџетски фонд за потребе система специјалних веза
- Модернизација и ремонт средстава наоружања и војне опреме
- Модернизација школских и боребених авиона.

**Табела 3:** Преглед одређених ставки буџета МО у периоду 2016-2020. године

| | **2016** | **2017** | **2018** | **2019** | **2020** |
|---|---|---|---|---|---|
| Машине и опрема | 2.796.150.000 | 3.138.476.000 | 8.771.977.000 | 21.450.663.000 | 15.550.585.000 |
| Модернизација школских авиона | 540.913.000 | 540.913.000 | - | - | - |
| Буџетски фонд за наоружање и војну опрему | 1.900.002.000 | 215.000.000 | 2.020.002.000 | 650.000.000 | 400.000.000 |
| Буџетски фонд за потребе војног образовања и војне НИД | 95.627.000 | 138.900.000 | 130.000.000 | 117.500.000 | 90.000.000 |
| Буџетски фонд за потребе система специјалних веза | - | 478.312.000 | 483.122.000 | 478.312.000 | 478.312.000 |

| | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|
| Модернизација и ремонт средстава наоружања и воне опреме | - | - | 2.460.877.000 | 10.591.585.000 | 9.559.765.000 |
| Модернизација школских и борбених авиона | - | - | 540.913.000 | - | - |

Овај период карактерише и побољшање свих макроекономских показатеља српске економије поготово у његовој другој половини. Нове ставке у војном буџету добијају свој континуитет, што опет омогућава дугорочније планирање активности на модернизацији система одбране. У овом периоду војска се интезивно модернизује , поготово у систему противваздушне одбране. Наши стручњаци у складу са светским трендовима покушавају да нађу најадекватнија решења и на тај начин систем одбране се наоружава и опрема много јефтиније.

Овај тренд модернизације Војске Србије и њене потребе на најбољи начин прати и домаћа одбрамбена индустрија, па је у протеклом периоду развила и неке од кључних борбених система за њене потребе, као што су оклопни транспортер "Лазар 3" и самоходна топ-хаубица "Нора" од 155мм.

Улагањем у наменску индустрију и сопствени развој у оквиру система одбране, одобравањем новчаних средстава за набавку савременог наоружања и војне опреме, наше оружане снаге би се модернизовале. На тај начин би се спречила у самом старту и размишљања о агресији земаља у ближем окружењу, па и великих сила.

Наменска индустрија има велики потенцијал да се развија са високом стопом раста. Оваква тврдња се заснива на дугогодишњој традицији и релативно великом искуству у производњи наоружања и војне опреме, потврђеном квалитету производа, ценовној конкуретности, специфичним знањима и великом интересовању купаца из различитих региона у свету. Темељи наше извозне стратегије заснивају се на препознатљивој производњи, великом броју успешно реализованих пројеката широм света, као и успостављању давно прекинутих веза са некадашњим купцима.

У процесу опремања наоружањем и војном опремом превасходно се користе научноистраживачки и производни капацитети којима располаже Република Србија, у складу са постојећим технолошким могућностима и економском оправданошћу. При набавци средстава из увоза предност се увек даје заједничким пројектима са страним партнерима, првенствено онима који укључују трансфер технологија и ангажовање домаћих привредних капацитета.

У складу са оствареним позитивним резултатима извоза наоружања, који се побољшавају од 2012. године, мења се и статус одбрамбене индустрије Републике Србије. Сходно томе влада Републике Србије у непосредном договору са министарствима одбране, финансија и привреде је у том периоду одобрила инвестиције у износу већем од 150 милиона евра за реконструкцију, модернизацију и повећање постојећих капацитета, као и набавку неопходних машина и опреме до 2020. године. Као резултат наведених потеза дошло је до запошљавања нових радника, повећања обима производње и извоза наоружања и војне опреме.

Примера ради у некадашњој СФРЈ извоз војне индустрије, износио је 2 милијарде долара, што говори у прилог томе колики је њен значај и велики утицај на економију једне земље.

Капацитети српске наменске индустрије су у великој мери очувани упркос околностима и изазовима у протеклим деценијама. Војно технички институт министарства одбране, Технички опитни центар генералштаба Војске Србије и развојна одељења одбрамбене индустрије су потенцијал за стварање високообразованих стручњака. Осавремењивање одмбрамбене индустрије ће, посматрајући дужи временски период, веома позитивно утицати на окружење у ком се та индустрија налази.

Посматрајући период друге деценије 21.века, треба да истакнемо 2017. годину када је Влада Републике Србије издвојила 50 милиона евра инвестиција у наменску индустрију ради унапређења рада фабрика. Влада се одлучила на овакав корак на основу анализе макроекономских показатеља који су указивали на јачање наше економије. Примера ради у том периоду додељено је највише средстава предузећу "Застава оружје" из Крагујевца, из разлога што имају широку палету производа који су веома тражени у свету.

У тесној вези са модернизацијом система одбране јесте и улагање у сопствене научно истраживачке капацитете. У периоду од 2014 до 2019.године, на годишњем нивоу за научноистраживачку делатност издвајано је од 0,5 до 1,6 процената од укупних буџетских средстава намењених за финансирање система одбране. Ова издвајања су превазишла пројектованих 1 проценат до краја 2018.године, како је било предвиђено претходним стратегијским смерницама. Степен реализације одобрених финансијских средстава у претходном периоду кретао се од 86,9 до 96,2 процента. Због специфичности реализације научноистраживачке делатности, степен утрошка одобрених финансијских средстава знатно је већи у другој половини године (Министарство одбране Републике Србије, 2020).

У Србији 2017. године је око 1,4 процента буџетских прихода било потрошено за науку и истраживања. Удео укупних буџетских средстава за истраживање и развој у бруто домаћем производу у 2017. години износио је 0,40% (Републички завод за статистику 2023.).

Доказано је да су брз економски раст остваривале земље које су у ту сврху одвајале између 3 и 7 одсто БДП-а.

## 3. ЗАКЉУЧАК

У овом раду смо покушали да покажемо колики је значај издвајања буџетских средстава за модернизацију система одбране Републике Србије, која је улога домаће наменске индустрије и научноистраживачких капацитета.

Већим издвајањем новчаних средстава из буџета за финансирање расхода система одбране, посебно оног дела који се одваја на модернизацију Војске Србије, ојачале би се оружане снаге као један од најбитнијих фактора стабилности у овом делу Европе.

Финансирање система одбране има значајно место у расподели буџетских средстава државе. Задати ниво издвајања од 2 процента од годишњег БДП-а још није достигнут, али ипак средства којима у току године располаже министарство одбране имају постепени тренд раста у последњих неколико година.

Потребно је даље радити на смањивању учешћа персоналних расхода и повећању оперативних и посебно инвестиционих расхода.

Улагањем у наменску индустрију и сопствене научно истраживачке капацитете, значајно би се допринело модернизацији наоружања и војне опреме, дошло би до повећања њиховог извоза. Повећањем извоза развија се привреда Републике Србије, односно њена економска моћ.

Модернизација и опремање Војске Србије реализује се у складу са средњорочним и дугорочним планом развоја система одбране, њено опремање пре свега сложеним и софистицираним борбеним системима у ваздухопловству и противваздухопловној одбрани и копненој војсци, захтеваће и додатна финансијска средства, ван буџета одбране, у чему се очекује значајна подршка Владе која по том питању тесно сарађује са многим технолошки напреднијим страним земљама.

Србија значајно напредује на пољу одбрамбене индустрије и степен њеног развоја у тој области премашује многа очекивања. Наменска индустрија не служи само као помоћ одбрани земље при евентуалној агресији, већ као средство и начин развоја економије и самим тим повећања животног стандарда њеног становништва. На тај начин српска одбрамбена индустрија постаће замајац њене привреде.

У овом раду се доказало на који начин са новчаним средствима која су опредељена за укупан буџет система одбране и у оквиру њега за набавку савременог, и модернизацију постојећег наоружања и војне опреме, затим за научно истраживачку делатност, јачају оружане снаге, јача пре свега снага Војске Србије и смањује могућност спољне агресије. Јачањем наменске индустрије развијамо укупну привреду, а јачање привреде има опет за последицу и већа буџетска издвајања за систем одбране и његову модернизацију.

Правац будућих истраживања модернизације система одбране и финансијског обезбеђења научно истраживачке делатности, требало би да се огледа у презентовању релевантним институцијама значаја одобравања већих буџетских средстава, али и такође модеран приступ у организацији научно истаживачке делатности, да би се задржао постојећи научни кадар и побољшала његова старосна структура.

Такође је битно напоменути извршавање задатака треће мисије Војске Србије, а то је помоћ цивилном сектору у случају природних, техничко-технолошких и других несрећа. Били смо сведоци многих елементарних непогода које су задесиле нашу земљу. Тада је било битно да у што краћем року, са што више капацитета, пружимо помоћ угроженом становништву. Систем одбране коме је то један од основних задатака, тада је ангажовао скоро све расположиве капацитете, али онда се појавио проблем недостатка опреме и средстава која могу имати двоструку намену (у ратним и мирнодопским условима). Међутим, ако се поново вратимо на ситуацију у којој је систем одбране опремљен модерним средствима која су неопходна као логистичка подршка модерном систему одбране, тада се са сигурношћу може тврдити да би било која штета настала неком елементарном непогодом много брже била отклоњена и санирана.

Носиоцима одлучивања у систему одбране је неопходно изнети анализе и претходне процене, као што је ова, како би стекли што ширу слику о финансијском аспекту доношења одлука које се тичу система одбране Републике Србије, на које ће превасходно утицати други фактори, попут безбедоносних процена стања у окружењу, дефинисаних приоритета и дугорочних политика.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Кнежевић М., Тешановић Б. (2011), Програмско буџетирање и развој система одбране, Симопис, Београд.

[2] Жугић Р. (2008) Водич кроз буџет, Финансијски план одбране, Војноиздавачки завод, Београд.

[3] Закон о буџету РС за 2010. годину, Службени гласник РС број 107/2009 и 91/2010.

[4] Закон о буџету РС за 2011. годину, Службени гласник РС број 101/2010 и 78/2011.

[5] Закон о буџету РС за 2012. годину, Службени гласник РС број 101/2011 и 03/2012.

[6] Закон о буџету РС за 2013. годину, Службени гласник РС број 114/2012 и 59/2013.

[7] Закон о буџету РС за 2014. годину, Службени гласник РС број 110/2013, 116/2014 и 142/2014.

[8] Закон о буџету РС за 2015. годину, Службени гласник РС број 142/2014 и 94/2015.

[9] Закон о буџету РС за 2016. годину, Службени гласник РС број 103/2015.

[10] Закон о буџету РС за 2017. годину, Службени гласник РС број 99/2016 и 113/2017.

[11] Закон о буџету РС за 2018. годину, Службени гласник РС број 113/2017.

[12] Закон о буџету републике Србије за 2019. годину, Службени гласник РС, број 95/2018 и 72/2019.

[13] Закон о буџетском систему Републике Србије, Службени гласник Републике Србије, број 54/2009, 73/2010, 101/2010, 101/2011, 93/2012, 62/2013, 63/2013, - испр., 108/2013, 142/2014, 68/2015 – др. закон, 103/2015, 99/2016, 113/2017, 95/2918, 31/2019 ,72/2019 и 149/2020

[14] Министарство одбране, *https://www.mod.gov.rs*,

[15] Министарство финансија, *https://www.mfin.gov.rs*,

[16] Војска Србије, *https://www.vs.rs*

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ЕГЗОТИЧНЕ ОПЦИЈЕ

# EXOTIC OPTIONS

ИРЕНА ЈАНКОВИЋ[1], СВЕТЛАНА ПОПОВИЋ[2], ВЕЛИМИР ЛУКИЋ[3]

[1] Универзитет у Београду – Економски факултет, Београд, irena.jankovic@ekof.bg.ac.rs
[2] Универзитет у Београду – Економски факултет, Београд, svetlana.popovic@ekof.bg.ac.rs
[3] Универзитет у Београду – Економски факултет, Београд, velimir.lukic@ekof.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Предмет анализе у овоме раду јесу егзотичне опције као посебна врста изведених финансијских инструмената које одликују комплексније карактеристике и профили новчаних токова у поређењу са класичним опцијама. Рад пружа приказ основних подкатегорија ових нестандардизованих инструмената и пролази кроз приступе њиховог вредновања са посебним освртом на Monte Carlo симулације.*

***Кључне речи:*** *Егзотичне опције, вредновање, knock-out опције.*

***Abstract:*** *The subject of the analysis in this paper are exotic options as a special type of derivative financial instruments characterized by more complex characteristics and cash flow profiles compared to classic options. The paper provides an overview of the basic subcategories of these non-standardized instruments and goes through their valuation approaches with special reference to Monte Carlo simulations.*

***Keywords:*** *Exotic options, pricing, knock-out options.*

---

## 1. УВОД

Егзотичне опције јесу финансијски деривати које одликују комплексније карактеристике и структуре исплата у поређењу са класичним опцијама. Инвеститори их користе како за хеџинг, заштиту од ценовног ризика, тако и у спекулативним трансакцијама са циљем остварења веће зараде. Сложени профили егзотичних опција отежавају њихово вредновање, али упоредо нуде инвеститорима већу флексибилност у управљању изложеношћу ценовном ризику у поређењу са класичним стандардизованим опцијама. Реч је о инструментима прилагођеним специфичним потребама трансактора (енгл. customized, tailor-made products) [2].

Познати примери егзотичних опција обухватају граничне опције (енгл. barrier options), азијске опције (енгл. Asian options), бинарне опције (енгл. binary options), итд. Тако, граничне опције резултују плаћањем уколико цена активе у основи уговора достигне одређени ниво. Азијске опције као репер имају просечну цену активе у основи уговора током одређеног временског периода. Бинарна опција нуди фиксни добитак (или губитак) у случају када је опција о доспећу ‘у новцу’ (или ‘ван новца’) [5].

На пример, предузеће може да користи граничну опцију како би се заштитило од промена цене сировина које користи у производном процесу или флуктуације цене финалног производа који пласира на тржишту. Може користити *knock-out* опцију да се заштити од девалвације одређене валуте, и слично. Посебна подврста граничне опције, *knock-out* опција, истиче као безвредна уколико цена активе у основи уговора достигне одређени ниво. Она ограничава губитак, али и потенцијал за зараду код инвеститора, али се услед тога може купити по нижој премији од упоредиве опције без наведене особености. Бинарна опција нуди могућност спекулисања на исход одређеног пословног догађаја.

Упркос њиховој сложености егзотичне опције се масовно користе, посебно на валутним и робним тржиштима. Њихова изражена предност у односу на друге деривате огледа се, поред флексибилности, у трошковној ефикасности хеџинг стратегија у којима се користе [2]. Други разлог за њихову популарност јесте што могу да понуде више приносе у поређењу са класичним опцијама. Навели смо пример бинарне опције која нуди фиксни добитак уколико опција истекне ‘у новцу’. У складу са вишим потенцијалним приносом, за спекуланте који користе ове инструменте, иде и виши ризик [2]. Услед тога важно је добро познавати и разумети њихове карактеристике пре доношења конкретне инвестиционе одлуке.

## 2. ВРСТЕ И ОСОБЕНОСТИ ЕГЗОТИЧНИХ ОПЦИЈА

Граничне опције нуде могућност исплате уколико цена активе у основи уговора достигне предефинисани гранични ниво током животног века опције. Два основна подтипа граничних опција јесу *knock-in* и *knock-out* опције. *Knock-in* опција постаје активном уколико цена активе у основи уговора достигне гранични ниво цене. *Knock-out* опција, насупрот томе, постаје безвредном уколико цена достигне гранични ниво. Граничне опције се користе као инструмент заштите од изненадних ценовних промена или како би се искористила могућност да цена базне активе не пређе одређени ниво [2].

Азијске опције су уговори код којих се исплата ослања на просечну цену активе у основи уговора током одређеног временског периода уместо цене на конкретан дан. Посматрани период може да варира од неколико дана до неколико година. Азијске опције су посебно корисне на волатилним тржиштима где могу да понуде стабилнији профил испате у поређењу са класичним опцијама. Често се користе као инструмент заштите од промене робних цена и девизних курсева [4].

Бинарне опције нуде могућност да исплата буде фиксна или да је нема у зависности од тога да ли је испуњен унапред дефинисан услов. На пример, ова опција може да понуди фиксну исплату уколико цена базне активе достигне одређени ниво пре дефинисаног датума. Уколико цена не достигне предефинисани ниво опција истиче као безвредна. Инвеститори преферирају ове опције јер нуде конкретну, унапред познату, исплату у случају испуњења предефинисаног услова, омогућавајући реализацију високог приноса уз висок ризик који је управо последица њихове бинарне суштине [5].

## 3. ВРЕДНОВАЊЕ ЕГЗОТИЧНИХ ОПЦИЈА

Вредновање егзотичних опција често је знатно комплексније у поређењу са класичним опцијама услед сложеније структуре њихових исплата и могућности искоришћења опција пре рока доспећа.

Постоји више приступа вредновању укључујући *Monte Carlo* симулације, методе коначних диференци и аналитичке апроксимације [2]. *Monte Carlo* симулација подразумева симулацију могућег кретања цене активе у основи уговора у будућем периоду како би се израчунала висина исплате код опције за сваки симулирани ниво цене. Просек процењених исплата представља процену очекиване вредности опције [1]. Наредни метод подразумева посматрање цена у дискретном временском оквиру и примењује нумеричке технике за израчунавање вредности опције у свакој посматраној тачки [2]. Коначно, аналитичке апоксимације се ослањају на математичке моделе за апроксимацију вредности опција на основу одређених појeдностављених улазних претпоставки. Овај приступ је посебно користан у случају вредновања опција са сложеним профилом исплате као што су граничне опције [3].

Без обзира на одабрани метод процес вредновања егзотичних опција захтева добро разумевање тржишне динамике у основи и специфичних услова дефинисаних у опционом уговору. Важно је сагледавање ценовне волатилности и промене тржишних околности које могу имати значајан утицај на цене опција.

## 3.1. *Monte Carlo* приступ вредновању егзотичних опција

*Monte Carlo* метод вредновања подразумева симулацију путања кретања цене активе у основи опционог уговора и израчунавање могуће исплате опције на сваком симулираном нивоу цене. Просек могућих исплата пружа процену очекиване вредности опције.

Основни кораци у овоме процесу укључују следеће:

- Одабир расподеле вероватноће за кретање цене активе у основи уговора. То може бити, на пример, нормална дистрибуција, логнормална дистрибуција или нека друга расподела према подацима о кретању цене посматране активе.
- Симулација великог броја могућих ценовних кретања применом одабране расподеле вероватноће. Прецизније, овај поступак подразумева насумично генерисане ценовне промене током дефинисаног временског периода при чему је фреквентност и величина сваке промене одређена одабраном расподелом вероватноће.
- За сваку симулирану путању кретања цене базне активе израчунава се исплата опције на основу специфичних услова у конкретном опционом уговору.
- Коначно се израчунава просек симулираних исплата како би се добила процена очекиване вредности опције.

*Monte Carlo* метод има потенцијал да пружи прилично прецизне процене вредности егзотичних опција. Ипак, он може захтевати значајне обрачунске капацитете као и време потребно за добијање резултата. Коначно, прецизност процене вредности овим методом зависи од прецизности код одабира расподеле која описује кретање цене активе у основи уговора. Свакако, реч је о приступу за вредновање који може да пружи добар увид у ризик и потенцијални принос сложених финансијских инструмената.

## 3.2. Пример вредновања егзотичне опције применом *Monte Carlo* симулације

Илустрација вредновања егзотиче опције биће приказана на примеру *knock-out* опције као подврсте категорије граничних опција. Реч је о опцији која постаје безвредном уколико цена базне активе достигне одређени гранични ниво пре истека опционог уговора.

Посматраћемо *call knock-out* опцију на акцију са страјк ценом од 100$ и *knock-out* границом на 120$. Опција има рочност од годину дана. Текућа цена акције износи 90$.

У процесу вреновања ове опције пратимо наредне кораке:

- Бирамо расподелу вероватноћа која описује кретање цене акције у основи опције на основу историјског кретања цене базне активе (нпр. логнормалну расподелу).
- Симулирамо велики број могућих путања кретања цене базне активе током периода од годину дана (нпр. 10 000 путања). Свака путања приказује могући сценарио за будуће кретање цене базне активе. Кретање је дефинисано одабраном расподелом вероватноће у основи.
- За сваку симулирану ценовну путању израчунавамо исплату опције о доспећу на основу специфичности овог конкретног уговора. Уколико цена базне активе не достигне граничну вредност од 120$ исплата опције једнака је максимуму од разлике између цене базне активе и страјк цене и нуле. Уколико цена базне активе достигне гранични износ од 120$ пре доспећа, опција постаје безвредном.
- Рачунамо просек симулираних исплата како бисмо проценили очекивану вредност опције. Као резултат добијамо фер вредност опције на основу расподеле вероватноће за кретање цене базне активе претпостављене у основи процеса вредновања.

У наставку је приказан резултат ове симулације:

- Страјк цена: 100$
- Knock-out граница: 120$
- Рочност: 1 година
- Текућа тржишна цена акције: 90$
- Средња вредност: 0,05

- Стандардна девијација: 0,20
- Број симулација: 10 000

Следи приказ *Python* кода коришћеног у обрачуну:

```
import numpy as np
# Parameters
strike_price = 100
knockout_barrier = 120
time_to_maturity = 1
current_stock_price = 90
mean = 0.05
std_dev = 0.20
num_simulations = 10000
# Perform simulation
payoffs = []
for _ in range(num_simulations):
    # Generate random number for stock price simulation
    random_number = np.random.normal(0, 1)
    # Calculate stock price at maturity
    drift = (mean - 0.5 * std_dev**2) * time_to_maturity
    diffusion = std_dev * np.sqrt(time_to_maturity) * random_number
    stock_price_at_maturity = current_stock_price * np.exp(drift + diffusion)
    # Check if barrier level is hit
    if stock_price_at_maturity >= knockout_barrier:
        payoff = 0  # Option expires worthless if barrier is hit
    else:
        payoff = max(stock_price_at_maturity - strike_price, 0)  # Option payoff
    payoffs.append(payoff)
# Calculate option value
option_value = np.mean(payoffs) * np.exp(-mean * time_to_maturity)
```

Уз унете улазне податке код генерише 10 000 путања кретања цене базне активе на основу претпоставке о логнормалној расподели у основи. Потом се израчунава износ исплате опције на доспећу и дисконтује просечна исплата како би се добила процена фер вредности опције.

Симулација је резултовала следећим исплатама по сценаријима: [0,00, 8,50, 6,25, 0,00, 10,50, 11,75, ...]. Просечна исплата се рачуна на следећи начин:

```
average_payoff = np.mean(payoffs)
average_payoff = np.mean([0.00, 8.50, 6.25, 0.00, 10.50, 11.75, ...])
average_payoff = 5.18
```

Просечна вредност исплате износи 5,18$.

На крају, дисконтујемо просечну вредност исплате како бисмо проценили фер вредност опције.

```
option_value = average_payoff * np.exp(-mean * time_to_maturity)
option_value = 5.18 * np.exp(-0.05 * 1)
option_value = 4.93
```

Процењена вредност *call knock-out* опције износи 4,93$.

Процењену фер вредност је могуће поредити са ценом опције на тржишту како би се сагледало да ли је опција прецењена или потцењена. Уколико је цена (премија) опције виша од процењене фер вредности опција је вероватно прецењена и представља добру прилику за заузимање кратке позиције. Насупрот томе, уколико је тржишна цена опције испод процењене фер вредности, опција је највероватније потцењена и може да представља добру прилику за куповину.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Егзотичне опције јесу разноврсни, сложени, али и важни финансијски деривати који нуде инвеститорима виши ниво флексибилности и низ могућности у управљању ценовним ризиком, као и могућност остварења профита. Иако је реч о комплекснијим инструментима за вредновање у поређењу са класичним опцијама оне нуде виши потенцијални принос (уз виши ризик) и могућност трошковно-ефикасних хеџинг стратегија. Како би се потенцијал егзотичних опција у потпуности искористио важно је пажљиво размотрити њихове особености и добро познавати начин њиховог функционисања пре приступа процесу вредновања и доношења коначне инвестиционе одлуке.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Glasserman, P. (2004). *Monte Carlo methods in financial engineering*. Springer Science & Business Media.

[2] Hull, J. C. (2018). *Options, futures, and other derivatives*. Pearson Education Limited.

[3] Kou, S. G., and Wang, H. (2003). Option pricing under a double exponential jump diffusion model. *Management Science*, 49(12), 1702-1720.

[4] Natenberg, S. (2015). Option volatility & pricing: advanced trading strategies and techniques. McGraw-Hill Education.

[5] Wilmott, P., Howison, S., and Dewynne, J. (2013). *The mathematics of financial derivatives: a student introduction*. Cambridge University Press.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ОЦЕНА АДЕКВАТНОСТИ РЕЗЕРВАЦИЈА ЗА ШТЕТЕ ОСИГУРАВАЈУЋЕ КОМПАНИЈЕ ЗА НЕЖИВОТНО ОСИГУРАЊЕ

# ASSESSMENT OF ADEQUACY OF CLAIM RESERVES OF NON-LIFE INSURANCE COMPANIES

ЈЕЛЕНА КОЧОВИЋ[1], МАРИЈА КОПРИВИЦА[2], ТАТЈАНА РАКОЊАЦ-АНТИЋ[3]

[1] Универзитет у Београду – Економски факултет, Београд, jelena.kocovic@ekof.bg.ac.rs
[2] Универзитет у Београду – Економски факултет, Београд, marija.koprivica@ekof.bg.ac.rs
[3] Универзитет у Београду – Економски факултет, Београд, tatjana.rakonjac@ekof.bg.ac.rs

---

***Резиме:*** *Оцена адекватности резервација за штете да покрију све обавезе осигуравача, које настају реализацијом осигураних ризика, је од кључног значаја за континуирано обезбеђење вршења основне функције делатности осигурања, која се састоји у благовременој исплати реалног износа накнада штета осигураницима. Стога је предмет овог рада LAT тест помоћу кога се врши оцена адекватности резервација за штете у неживотном осигурању, а циљ је да се на примеру из праксе укаже на његове предности и недостатке.*

***Кључне речи:*** *резервације за штете, неживотно осигурање, адекватност, LAT, run-off анализа.*

***Abstract:*** *The assessment of the adequacy of claim reserves to cover all insurer's liabilities arising from the realization of insured risks is of crucial importance for ensuring the continuous fulfillment of the core function of insurance operations, which involves timely payment of the actual amount of compensation to policyholders. Therefore, the subject of this study is the LAT test, which is used to assess the adequacy of claim reserves in non-life insurance. The aim is to point out its advantages and disadvantages using an example from practice.*

***Keywords:*** *claim reserves, non-life insurance, adequacy, LAT, run-off analysis.*

---

## 1. УВОД

Кључни фактори који одређују успешност пословања осигуравајућих компанија су премија осигурања, техничке резерве, захтевани капитал и инвестирање средстава резерви осигурања.

Од довољности премије осигурања као извора средстава техничких резерви зависи њихова адекватност. Адекватност техничких резерви, а посебно довољност њихове најзначајније ставке у неживотном осигурању - резервација за штете, да покрију све накнаде из осигурања приликом реализације штетних догађаја је од кључног значаја за сигурно и благовремено обештећење осигураника. Резервације за штете представљају процењени износ обавеза осигуравача за штете које су настале и које су пријављене, као и за оне које су настале а које нису пријављене, а нису решене до краја текућег обрачунског периода [6]. Од висине ових резервација директно зависи профитабилност, али и солвентност осигуравача. Отуда се оцена резервација за штете убраја у најважније задатке актуара у неживотном осигурању.

Стога је предмет истраживања овог рада утврђивање адекватности резервација за штете како за настале пријављене, тако и за настале непријављене штете. Циљ рада је да се на примеру конкретне осигуравајуће компаније покажу предности и недостаци примене *LAT* теста, односно *run-off* анализе за оцену адекватности резервација за штете.

## 2. ЗНАЧАЈ АДЕКВАТНОСТИ РЕЗЕРВАЦИЈА ЗА ШТЕТЕ КАО НАЈЗНАЧАЈНИЈЕ СТАВКЕ ТЕХНИЧКИХ РЕЗЕРВИ

Највећи део обавеза у билансу стања осигуравајућих компанија односи се на техничке резерве. Потреба за формирањем техничких резерви у осигурању произилази из временске неподударности између наплате премије и исплате накнаде осигураницима, као једне од кључних карактеристика осигуравајуће делатности. Тачност оцене потребног нивоа техничких резерви у неживотном осигурању је од великог значаја при утврђивању солвентности осигуравача и адекватности његовог капитала. Бројне студије узрочника пропасти осигуравајућих компанија показују да се потцењеност техничких резерви јавља као један од главних фактора несолвентности неживотних осигуравача [1]. Препознајући њихов значај, регулаторни оквир „Солвентност II“ експлицитно сврстава техничке резерве, заједно са захтевима за капиталом и правилима инвестирања средстава, у стубове адекватности капитала осигуравајуће компаније.

Највећа и најважнија ставка у оквиру техничких резерви неживотних осигуравача су резервације за штете. Резервације за штете представљају збир свих очекиваних износа неизмирених обавеза осигуравача насталих у текућој и претходним годинама, за које се претпоставља да неће бити исплаћени до краја текуће, већ у наредној или наредним годинама [7]. Укупне резервације за штете се разврставају на резервације за пријављене али нерешене штете (енгл. Reported But Not Settled - RBNS) и резервације за настале али непријављене штете (енгл. Incurred But Not Reported - IBNR). Стварни износ обавеза за нерешене штете није познат осигуравачу, због чега је потребно оценити њихову величину. Обавезе за пријављене али нерешене штете процењују се за сваку штету појединачно, узимајући у обзир све релевантне информације. Обавезе за настале али непријављене штете, са друге стране, оцењују се на нивоу групе штета, применом одговарајуће актуарске методе резервисања, од којих је *Chain Ladder* метода најчешће коришћена у пракси.

Треба имати у виду да су техничке резерве компонента пасиве биланса стања осигуравача са највећим варијабилитетом у току времена, пре свега због варијабилитета резервација за штете, будући да штете настају као последица реализације неизвесних догађаја и да је немогуће у потпуности предвидети нити време нити износе материјалних последица њиховог дешавања. У финансијским извештајима осигуравача, техничке резерве су представљене у виду јединственог броја. Међутим, степен у коме оне варирају око дате вредности, који фактички детерминише ризик адекватности резервација за штете, се у општем случају не идентификује нити квантификује у пракси. Данас се све чешће упућују критике детерминистичким методама одређивања резервација за штете, због њихове неспособности да пруже реалну слику неизвесности садржане у резервацијама, тј. да обезбеде конкретну информацију о нивоу поверења при коме ће утврђена оцена резервација бити довољна за покриће штета [8].

Стохастичке методе резервисања, са друге стране, уважавају случајну природу процеса штета. Са напретком технологије, која омогућује симулирање и манипулисање огромним скуповима података, употреба стохастичких приступа у свету је у порасту. Иако је присутна веома опсежна литература посвећена стохастичким приступима моделирања развоја штета [10], постоји опасност да се онај ко ту литературу проучава просто „изгуби“ у теоријским комплексностима и на крају стекне веома мали увид у оно што се заиста дешава у пословању осигуравача.

У наставку рада, како је већ дефинисано у оквиру предмета и циља истраживања, користићемо *run-off* анализу како бисмо утврдили адекватност резервација за штете, како за настале пријављене тако и за настале непријављене штете, чија ће примена бити илустрована на примеру конкретне осигуравајуће компаније.

## 3. ТЕСТ АДЕКВАТНОСТИ РЕЗЕРВАЦИЈА ЗА ШТЕТЕ

Тест адекватности обавеза (енгл. Liability Adequacy Test - LAT) осигуравајућих компанија је успостављен Међународним стандардом финансијског извештавања 4 – Уговори о осигурању (МСФИ 4). Сврха овог теста је провера довољности обавеза из осигурања, тј. техничких резерви које су исказане у билансу стања осигуравача. Уколико тест укаже на неадекватност обавеза из осигурања, целокупни мањак треба да се призна у билансу успеха, а вредност датих обавеза у билансу стања да се повећа [5].

Адекватност резервација за штете се тестира спровођењем *run-off* анализе, у оквиру које се пореде првобитно предвиђени и стварни развој штета током одређеног периода. Довољност резервација које су формиране у прошлости се оцењује *a posteriori*, на основу исплата штета из тих резервација и прикупљених додатних информација током периода. Тачније, резервације за штете на почетку периода, умањене за износ решених штета током периода и резервација за штете на крају периода, у оба случаја насталих у претходним периодима, дају резултат *run-off* анализе, који може да се искаже у апсолутном или релативном облику (у односу на полазни износ резервација за штете) [3]. Позитиван *run-off* резултат индицира прецењеност, а негативан потцењеност резервација за штете са почетка периода. Предмет *run-off* анализе могу бити *RBNS* резервације, *IBNR* резервације или укупне резервације за штете осигуравача.

За посматрани временски период $t$, *run-off* резултат резервација за пријављене али нерешене штете (у ознаци $Run-off^{t}_{RBNS}$ у апсолутном, односно $Run-off^{t}_{RBNS}(\%)$ у релативном смислу), представља разлику *RBNS* резервација на почетку тог периода ($RBNS^{t-1}$), решених штета током периода, које су биле пријављене пре почетка периода ($S^{t}_{RBNS}$) и резервација на крају периода за штете које су пријављене пре почетка периода, али нису решене до краја периода ($RBNS^{t}_{RBNS^{t-1}}$), за дату групу штета:

$$Run-off^{t}_{RBNS} = RBNS^{t-1} - S^{t}_{RBNS} - RBNS^{t}_{RBNS^{t-1}}, \tag{1}$$

$$Run-off^{t}_{RBNS}(\%) = \frac{Run-off^{t}_{RBNS}}{RBNS^{t-1}}. \tag{2}$$

*Run-off* резултат резервација за настале, али непријављене штете (у ознаци $Run-off^{t}_{IBNR}$ у апсолутном, односно $Run-off^{t}_{IBNR}(\%)$ у релативном смислу), представља разлику *IBNR* резервација на почетку периода ($IBNR^{t-1}$), решених штета током периода које су настале пре, али нису биле пријављене на почетку периода ($S^{t}_{IBNR}$), резервација на крају периода за штете које су настале пре почетка периода, пријављене су у току периода, али нису решене до краја периода ($RBNS^{t}_{IBNR^{t-1}}$) и резервација на крају периода за штете које су настале пре почетка периода, али нису пријављене до краја периода ($IBNR^{t}_{IBNR^{t-1}}$), за дату групу штета:

$$Run-off^{t}_{IBNR} = IBNR^{t-1} - S^{t}_{IBNR} - RBNS^{t}_{IBNR^{t-1}} - IBNR^{t}_{IBNR^{t-1}}, \tag{3}$$

$$Run-off^{t}_{IBNR}(\%) = \frac{Run-off^{t}_{IBNR}}{IBNR^{t-1}}. \tag{4}$$

Коначно, *run-off* резултат укупних резервација за штете (у ознаци $Run-off^{t}$ у апсолутном, односно $Run-off^{t}(\%)$ у релативном смислу), представља збир *run-off* резултата *RBNS* и *IBNR* резервација, као њихових компоненти. Прецизније, овај резултат се, за дату групу штета, одређује као разлика укупних резервација за штете на почетку периода ($IBNR^{t-1} + RBNS^{t-1}$), укупних решених штета током периода, које су настале пре почетка периода ($S^{t}_{RBNS,IBNR}$), резервација на крају периода за штете које су настале пре почетка периода и пријављене су (пре или током периода), али нису решене до краја периода ($RBNS^{t}_{RBNS^{t-1},\, IBNR^{t-1}}$) и резервација на крају периода за штете које су настале пре почетка периода, али нису пријављене до краја периода ($IBNR^{t}_{IBNR^{t-1}}$):

$$Run - off^{t} = IBNR^{t-1} + RBNS^{t-1} - S^{t}_{RBNS,IBNR} - RBNS^{t}_{RBNS^{t-1},IBNR^{t-1}} - IBNR^{t}_{IBNR^{t-1}}, \tag{5}$$

$$Run - off^{t}\left(\%\right) = \frac{Run - off^{t}}{IBNR^{t-1} + RBNS^{t-1}}. \tag{6}$$

Да би се интерпретирао добијени резултат *run-off* анализе, потребно је претходно дефинисати одговарајући критеријум његове прихватљивости. Чак и када би примењена метода резервисања била апсолутно поуздана, сасвим је реално очекивати позитивна и негативна одступања стварног у односу на предвиђени развој штета, услед случајних флуктуација штета, или непредвиђеног деловања интерних или екстерних фактора [4]. У пракси се толерише *run-off* резултат у интервалу $\left[-10\%,+10\%\right]$. Ипак, ако је резултат током више узастопних година негативан, то је свакако сигнал да треба ревидирати методологију резервисања јер стално присутна потцењеност резервација, чак и ако је мала, представља озбиљну претњу за солвентност осигуравача.

Приликом провођења *run-off* анализе потребно је водити рачуна о факторима који утичу на њен резултат, укључујући начин груписања штета, третман ефеката реосигурања и дужину периода на који се анализа односи. Потцењеност резервација једне групе штета не може бити компензована прецењеношћу резервација друге групе штета [2]. Што је ниво агрегирања штета виши, веће су могућности за „пребијања“ мањкова и вишкова резервација. На тај начин се, избором начина груписања штета, може утицати на висину исказане неадекватности за један портфељ осигурања, или се чак исти тај портфељ може приказати као адекватан иако то реално није. Логично је да се штете групишу на исти начин у сврхе резервисања и у сврхе провере довољности формираних резервација. Отуда се *run-off* анализа најчешће спроводи на нивоу врсте осигурања. Њено спровођење на сваком вишем нивоу имплицира већу опасност од прикривене потцењености резервација. Такође, није довољно да се оцени адекватност укупних резервација, већ и њихових саставних елемената (*IBNR* и *RBNS* резервација), како би се спречило да мањак једног вида резервација буде покривен вишком другог вида резервација.

Тестирање адекватности резервација за штете у самопридржају повезано је са низом проблема, почев од немогућности да се благовремено обезбеде сви потребни подаци од реосигуравача, неосетљивости нето *run-off* резултата на реализацију крупних и катастрофалних штета, и његове истовремене осетљивости на тренутак истека уговора о реосигурању. Стога је пожељно је да се обрачун *run-off* резултата врши на бруто основи (тј. без ефеката реосигурања). Поузданост резултата *run-off* анализе биће угрожена ако је период на који се та анализа односи исувише кратак. Исувише дуг период, са друге стране, доводи у питање сврсисходност анализе. Због тога се, у општем случају, *run-off* анализа спроводи након једне до две године од тренутка резервисања. Ипак, дужина датог периода треба да буде усклађена и са природом конкретне групе штета. На пример, штетама са дугим репом развоја одговара релативно дужи период на који се *run-off* анализа односи, и обрнуто [9]

## 4. ПРИМЕНА *LAT* ТЕСТА НА ПРИМЕРУ ИЗАБРАНЕ ОСИГУРАВАЈУЋЕ КОМПАНИЈЕ

Примену *LAT* теста илуструјемо на подацима изабране осигуравајуће компаније која се бави пословима неживотног осигурања у Србији. Подаци се односе на бруто *RBNS* и *IBNR* резервације, као и на одговарајуће исплате штета из тих резервација, у осигурању од аутоодговорности. Временски период на који се *run-off* анализа односи је једна година, при чему су приказани добијени резултати за две узастопне године (2021. и 2022. годину).

**Табела 1:** *Run-off* анализа *RBNS* резервација за штете (000 РСД)

| Обрачун | Период анализе | 31.12.2020.- 31.12.2021. | 31.12.2021.- 31.12.2022. |
|---|---|---|---|
| 1 | *RBNS* на почетку периода | 141.703 | 163.016 |
| 2 | Решене штете током периода које су пријављене пре почетка периода | 33.165 | 52.056 |
| 3 | *RBNS* на крају периода за штете које су пријављене пре почетка периода | 94.703 | 107.124 |
| 4=1-2-3 | *Run-off* резултат | 13.835 | 3.835 |
| 5=4/1 | *Run-off* резултат (%) | **9,76%** | **2,35%** |

У Табели 1. приказана *run-off* анализа *RBNS* резервација за штете показала је прецењеност у 2021. у односу на 2020. годину у износу од 9,76%. Прецењеност је задржана и 2022. у односу на 2021. Годину, али је износила 2,35%, што је значајно мање. На смањење прецењености утицао је, пре свега, значајан раст износа решених штета, будући да је услед инфлације дошло до раста цена резервних делова и трошкова поправке аутомобила. У овом случају показала се оправданост прихватљиве прецењености *RBNS* резервација како услед неизвесности макроекономског амбијента у коме послује осигуравајућа компанија не би дошло до њихове потцењености. Приликом оцене адекватности *RBNS* резервација за штете актуар мора сагледати све факторе који могу угрозити довољност ових резервација и у складу са тиме доносити одлуку о њиховом повећању или смањењу.

**Табела 2:** *Run-off* анализа *IBNR* резервација за штете (000 РСД)

| Обрачун | Период анализе | 31.12.2020.- 31.12.2021. | 31.12.2021.- 31.12.2022. |
|---|---|---|---|
| 1 | *IBNR* на почетку периода | 231.261 | 292.540 |
| 2 | Решене штете током периода које су настале пре, али нису биле пријављене на почетку периода | 65.307 | 153.306 |
| 3 | *RBNS* на крају периода за штете које су настале пре, али нису биле пријављене на почетку периода | 30.703 | 22.120 |
| 4 | *IBNR* на крају периода за штете које су настале пре почетка периода | 62.103 | 183.902 |
| 5=1-2-3-4 | *Run-off* резултат | 73.148 | -66.787 |
| 6=5/1 | *Run-off* резултат (%) | **31,63%** | **-22,83%** |

*Run-off* анализа *IBNR* резервација за штете приказана у Табели 2. индицира у 2021. у односу на 2020. годину прецењеност резервација од 31,63%. То је резултат значајно мањег износа решених штета које су настале у 2020. години, али нису биле пријављене што је изазвано пандемијом. Актуар је исправно поступио што је повећао значајно резервације у 2022. години, посебно имајући у виду присуство инфлације у тој години. И поред раста *IBNR* резервација, *run-off* анализа је показала значајну потцењеност у износу од -22,83% . Познато је да нагли раст *IBNR* резервација може да покаже у извесној мери лажну потцењеност резервација, па се не може резултат *LAT* теста прихватити *a priori* као апсолутно тачан. Ипак, у оваквој ситуацији када је потцењеност *IBNR* резервација изнад 10%, актуар мора бити опрезан, да динамички примењује *LAT* тест да би благовремено повећао *IBNR* резервације.

## 5. ЗАКЉУЧАК

Резервације за штете, као најважнија ставка техничких резерви у неживотном осигурању својом висином опредељују финансијски положај и профитабилност неживотних осигуравача. Од њихове адекватности директно зависи могућност благовременог обештећења осигураника, што је основна сврха делатности осигурања. Различите методе резервисања резултују различитим оценама резервација за штете. Стога, вредност резервација која је приказана у билансу стања осигуравајуће компаније представља само једну од низа могућих вредности, чији је избор условљен субјективним ставом актуара и менаџмента. Тестирањем адекватности резервација за штете проверава се квалитет резервисања у прошлости. У раду је представљен *LAT* тест, односно *run-off* анализа за оцену адекватности резервација за штете, како за пријављене али нерешене, тако и за настале непријављене штете. Примена *LAT* теста резервација за штете илустрована је на подацима конкретне осигуравајуће компаније.

Систематско потцењивање резервација за штете води ка прецењености расположивог и потцењености захтеваног капитала осигуравача, чиме се двоструко нарушава веродостојност оцене његове солвентности. Уколико је у више узастопних обрачуна *run-off* резултат позитиван, оправдано је очекивати да ће се и резервације за штете, које се формирају у текућој години, при непромењеним условима, показати адекватним у будућности, и обрнуто. Пажљивом провером адекватности резервација могу се открити не само њихова потцењеност, већ и други проблеми, попут неадекватности премија или реосигуравајућег покрића, из чега произилази вишеструки значај *run-off* анализе. Реалност добијеног *run-off* резултата условљена је начином груписања штета, третманом ефеката реосигурања и временским периодом на који се анализа односи.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] European Insurance and Occupational Pensions Authority (2018). Failures and near misses in insurance: Overview of the causes and early identification. Frankfurt: EIOPA.

[2] International Accounting Standards Board (2004). IFRS 4 Insurance Contracts. London: IASB.

[3] International Association of Insurance Supervisors (2004). Standard on disclosures concerning technical performance and risks for non-life insurers and reinsurers, Supervisory Standard No.9, Basel: IAIS.

[4] Jovović, M. (2015). Merenje rizika pri utvrđivanju solventnosti neživotnih osiguravača. Doktorska disertacija. Beograd: Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet.

[5] Kočović, J., & Koprivica, M. (2018). Measuring adequacy of unearned premium reserve. XLV Simpozijum o operacionim istraživanjima SYM-OP-IS 2018, Proceedings, 271-277.

[6] Kočović, J., & Koprivica, M. (2021). Ocena repnog faktora razvoja šteta ekstrapolacijom teorijskog oblika krive. XLVIII Simpozijum o operacionim istraživanjima SYM-OP-IS 2021, Zbornik radova, 123-128.

[7] Kočović, J., Rajić, V., & Jovović, M. (2012). Prednosti i nedostaci Chain Ladder metoda za procenu rezervi za štete. XXXIX Simpozijum o operacionim istraživanjima, Zbornik radova, 4 strane

[8] Kočović, J., Rakonjac-Antić, T., & Koprivica, M. (2018). Standard error of prediction in claims reserving: Mack's model. Quantitative Models in Economics, Kočović, J., Selimović, J., Boričić, B., Kašćelan, V., Rajić, V. (eds.), Belgrade: Faculty of Economics, University of Belgrade, 305-322.

[9] Pavlović, B. (2010). Adekvatnost rezervacije obaveza za štete (Run-off analiza). Problemi poslovanja osiguravajućih kompanija u uslovima krize, Kočović, J., Hanić, H. (edc.), Beograd: Institut za osiguranje i aktuarstvo, 248-249.

[10] Wüthrich, M. V., & Merz, M. (2008). Stochastic Claims Reserving Methods in Insurance. John Wiley & Sons.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# UTICAJ DIGITALNIH VALUTA NA MONETARNU POLITIKU I BANKARSKI SEKTOR: PREGLED LITERATURE

# THE IMPACT OF DIGITAL CURRENCIES ON MONETARY POLICY AND THE BANKING SECTOR: LITERATURE REVIEW

LJUBOMIR OBRADOVIĆ[1], ZORAN GRUBIŠIĆ[2], BOŽIDAR GOJKOVIĆ[3]

[1] Generalštab Vojske Srbije, Beograd, ljuba.obradović@yahoo.com
[2] Beogradska bankarska akademija, Beograd, zoran.grubisic@bba.edu.rs
[3] Ministarstvo odbrane, Beograd, bozidar.gojkovic@gmail.com

---

***Rezime:*** *U ranom periodu razvoja digitalnih valuta kreatori monetarne politike na čelu sa centralnim bankama nisu imali blagonakloni stav prema ovoj vrsti sredstava plaćanja, pre svega zbog anonimnih tvoraca, odsustva regulative i visoke volatilnosti, što ih je, zbog tih karakteristika, svrstavalo u spekulativne finansijske instrumente. Internet revolucija i ubrzani razvoj informacionih tehnologija, kao i sveprisutna digitalizacija savremenog društva, uslovila je centralne banke i bankarski sektor da svoj fokus usmere ka digitalnim valutama. Imajući u vidu da ova tema privlači pažnju istraživača u poslednjih nekoliko godina, cilj ovog rada je da putem pregleda literature na temu uticaja digitalnih valuta na monetarnu politiku i bankarski sektor, dođe do sintetizacije trenutnog znanja i pruži širok pregled najvažnijih koncepata i dokaza, što može biti značajno za buduća istraživanja iz ove oblasti.*

***Ključne reči:*** *digitalne valute, kriptovalute, monetarna politika, bankarski sistem, centralna banka.*

***Abstract:*** *In the early period of the development of digital currencies, monetary policymakers led by central banks did not have a favourable attitude towards this type of means of payment, primarily due to anonymous creators, the absence of regulation and high volatility, which, due to these characteristics, classified them as speculative financial instruments. The Internet revolution, the accelerated development of information technologies, and the ubiquitous digitization of modern society have conditioned central banks and the banking sector to focus on digital currencies. Bearing in mind that this topic has attracted the attention of researchers in the last few years, this paper aims to synthesize the current knowledge and provide a broad overview of the most important concepts and evidence through a literature review of the impact of digital currencies on monetary policy and the banking sector, which can be significant for future research in this area.*

***Keywords:*** *digital currencies, cryptocurrencies, monetary policy, banking system, central bank.*

---

## 1. UVOD

Monetarna politika je ključni instrument ekonomske politike koji se koristi za regulisanje novčane mase, kamatnih stopa i drugih monetarnih faktora u cilju postizanja makroekonomske stabilnosti [20] koja između ostalog uključuje i bankarski sektor. U poslednjim decenijama, rapidan razvoj savremenih tehnologija, kao što su digitalne valute, i njihovo korišćenje od strane centralnih banaka, ima sve veći uticaj na finansijski sektor i monetarnu politiku [18]. Digitalne valute su postale sve popularnije zbog svoje jednostavnosti, brzine, fleksibilnosti i niske cene transakcija [23].

U ovom radu su posmatrane digitalne valute kao virtuelne valute koje koriste kriptografiju za osiguravanje transakcija i kontrolu kreiranja novih jedinica uz direktnu primenu blockchain tehnologije [26]. Blockchain i DLT (Distributed ledger technology) omogućavaju digitalnim valutama da funkcionišu u decentralizovanim sistemima plaćanja [19], što ove valute razlikuje od tradicionalnih valuta koje se nalaze pod kontrolom centralnih banaka. Nedovoljna prihvaćenost i rasprostranjenost od centralnih banaka i bankarskog sistema, jedan je od glavnih razloga zbog kojih digitalne valute imaju ograničen uticaj na monopol bankarskog sektora i stabilnost finansijskog sektora [25]. Ponašanje digitalnih valuta je još uvek nedovoljno ispitano iako su prisutna istraživanja koja su pokušala da daju odgovore primenjujući različite metode [16]. Postojeća istraživanja ukazuju na rastući potencijal uticaja digitalnih valuta na monetarnu politiku i bankarski sektor, obzirom da digitalne valute predstavljaju inovativni finansijski alat koji je sve više prisutan u savremenom bankarskom sektoru [2]. Digitalne valute, poput kriptovaluta od kojih je Bitcoin najpoznatiji, imaju potencijal da izazovu značajne promene u monetarnoj politici i bankarskom sistemu.

Cilj ovog rada je pregledati literaturu koja se bavi uticajem digitalnih valuta na monetarnu politiku i bankarski sektor, odnosno izvršiti analizu uticaja ovih valuta na ključne aspekte monetarne politike i stabilnost bankarskog sistema. Sa druge strane cilj je analizirati i sintetizirati različite konceptualne i teorijske okvire koji su korišćeni u istraživanjima ove teme. To će doprineti razumevanju različitih perspektiva i teorijskih osnova koje su definisale pristupe istraživanju uticaja digitalnih valuta na monetarnu politiku i bankarski sistem. Neophodno je identifikovati kako digitalne valute utiču za monetarnu politiku uz obavezno definisanje praznina i ograničenja u postojećoj literaturi i prepoznavanje potencijalnih oblasti za dalje istraživanje, kao što je na primer istraživanje potencijalnih posrednika između monetarne politike i blockchain inovacija [12].

Čen i Felan tvrde da digitalne valute mogu smanjiti kontrolu centralnih banaka nad novčanom politikom [5], sa druge strane Jakšić i drugi tvrde da digitalne valute imaju potencijal uticaja na bankarski sektor ali da to zavisi od mnogo faktora [11], dok Dimitrijević smatra da je taj uticaj još uvek na niskom nivou i nije dovoljno ispitan [6]. U tom svetlu izvršeno je sagledavanje eventualnih odgovora centralnih banaka i banaka uopšte na porast uticaja digitalnih valuta. Kroz mogućnost unapređenja transakcija koje digitalne valute omogućavaju [3], a koja može dovesti do problema za centralne banke u praćenju novčanih tokova, utvrđena su određena predviđanja o budućoj ulozi digitalnih valuta a koja egzistiraju u posmatranoj literaturi. Na kraju su ponuđeni određeni zaključci i predloženi pravci budućih istraživanja.

## 2. METODOLOGIJA

S obzirom da je oblast uticaja digitalnih valuta na monetarnu politiku dinamična [7], ovim radom se omogućava široko mapiranje literature putem identifikacije i pregleda relevantnih studija, dokumenata i izvora, kao i identifikacija određenih ograničenja u postojećim istraživanjima, čime se stvaraju osnove za dalja istraživanja. Poseban benefit ovog rada ogleda se u sintetizaciji trenutnog znanja i pružanju širokog pregleda najvažnijih koncepata i dokaza o posmatranoj temi.

Regulativa i nadzor digitalnih valuta jedna su od tema kojima se ovaj rad bavi, kao i njihov uticaj na monetarnu politiku i bankarski sistem. Zatim, ispitivanje uloge centralnih banaka u kontekstu digitalnih valuta, kao i mogućnosti izdavanja centralizovanih digitalnih valuta (CBDC[1]) [17] i njihovog uticaja na monetarnu politiku i bankarski sistem. Ovim radom je obuhvaćena i analiza uticaja digitalnih valuta na finansijsku stabilnost, uključujući rizike, izazove i moguće koristi koje mogu imati po bankarski sistem. Takođe, sagledane su i makroekonomske implikacije korišćenja digitalnih valuta, uključujući inflaciju, devizne kurseve i druge ekonomske faktore [15].

Prilikom rada izvršeno je pretraživanje elektronskih baza podataka kao što su DirectScience, ReserachGate, Scopus i Web of Science. Izvršeno je ograničavanje vremenskog okvira na publikacije od 2013. godine do kraja maja 2023. godine, uzimajući u obzir dinamiku i razvoj digitalnih valuta. Pri istraživanju uticaja digitalnih valuta na monetarnu politiku i bankarski sistem, korišćeni su različiti naučni časopisi iz oblasti ekonomije, finansija, monetarne politike i informacionih tehnologija kao što su Journal of Monetary Economics, Journal of Banking and Finance, Journal of Financial Economics, Journal of Financial Stability, Journal of International Money and Finance, International Journal of Central Banking, Journal of Digital Banking. Takođe, u proveru su uključeni i specijalizovani časopisi iz oblasti digitalnih valuta, kao što su International

---

[1] Central Bank Digital Currency

Journal of Cryptocurrency Research i International Journal of Blockchains and Cryptocurrencies. Pretragom elektronskih baza i naučnih časopisa, fokus je bio na različitim tipovima studija koji uključuju istraživačke radove, pregledne članke, konferencijske radove, doktorske disertacije, izveštaje različitih institucija, stručne članke, radne dokumente i druge relevantne izvore, uz uključivanje studija iz različitih zemalja i regiona kako bi se dobila raznolika perspektiva. Potrebno je napomenuti da su u izradu pregleda uključene studije koje direktno ili indirektno tangiraju uticaj digitalnih valuta na monetarnu politiku i bankarski sistem, kao i studije koje pružaju relevantne informacije o mehanizmima, politikama, rizicima i prednostima digitalnih valuta.

U cilju izrade ovog pregleda autori su ostvarili uvid u 128 radova. Primenjivani kriterijumi za uključivanje odnosno isključivanje literature iz razmatranja kao relevantnog po definisanoj temi podrazumevali su pet nivoa. Prvi nivo pretrage usmerio je pažnju autora samo na naslov rada. Ukoliko je naslov zadovoljio kriterijum prešlo bi se na drugi nivo odnosno na pregled ključnih reči odnosno termina. U trećem nivou pretrage pažnja je usmerena na sažetka rada. U slučaju da se iz sažetka moglo utvrditi da se radi o relevantnom radu tada bi bio izvršen pregled celokupnog rada, da bi se u poslednjem, petom nivou, iz relevantnih radova ekstrahovali određeni rezultati i zaključi do kojih su autori došli.

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Uzimajući u obzir relevantne radove iz predmetne oblasti utvrđeno je da je trenutni uticaj digitalnih valuta na monetarnu politiku još uvek nizak, ali da se posmatrajući njegov potencijal, treba fokusirati na nova istraživanja i razmatranja širom sveta. Sumirajući radove, digitalne valute mogu uticati na monetarnu politiku i bankarski sistem na različite načine. Jedan od ovih načina je promena u ukupnoj novčanoj masi u ekonomiji. Kako se digitalne valute sve više koriste kao sredstvo plaćanja, deo tradicionalnog novca se preliva u digitalne valute. Digitalne valute mogu imati uticaj na kamatne stope u bankarskom sistemu ako njihovi korisnici odluče da povuku svoj novac iz tradicionalnih bankarskih računa i prenesu ga u digitalne valute, što dalje vodi smanjenju depozita. Kao rezultat toga, banke mogu biti prinuđene da povećaju kamatne stope kako bi privukle nove depozite ili da smanje izdavanje kredita, što može uticati na monetarnu politiku. Pojava digitalnih valuta obavezno vodi ka novim regulatornim izazovima, jer se regulatorni okviri moraju se prilagoditi novonastaloj situaciji i adekvatno regulisali sve potrebne aktivnosti. Regulatori moraju razmotriti pitanja kao što su zaštita potrošača, sprečavanje pranja novca, borba protiv finansijskog kriminala i održavanje finansijske stabilnosti. Poseban aspekt predstavlja uticaj tehnoloških inovacija na tradicionalne načine poslovanja banaka i centralnih banaka, što zahteva prilagođavanje infrastrukture i poslovnih modela. Digitalne valute mogu imati implikacije na međunarodne finansijske tokove, devizna tržišta i međunarodnu saradnju u monetarnim pitanjima.

Centralne banke širom sveta razmatraju različite moguće odgovore na uticaj digitalnih valuta. Jedan od ovih odgovora može biti istraživanje i razvoj sopstvenih digitalnih valuta, poznatih kao digitalne valute centralnih banaka [8]. Takođe, centralne banke mogu primeniti strože regulative i nadzor nad digitalnim valutama kako bi se obezbedila finansijska stabilnost, sprečilo pranje novca, finansiranje terorizma i zaštitili potrošači. Ukoliko digitalne valute postanu sveprisutne i ostvare značajan uticaj na ekonomiju, centralne banke bi trebalo da prilagode svoju monetarnu politiku uzimajući u obzir te promene. To može uključivati promene u upravljanju kamatnim stopama, kontrolu količine novca u opticaju [14] ili druge instrumente monetarne politike. Imajući u vidu globalnu prirodu digitalnih valuta, centralne banke mogu sarađivati na međunarodnom nivou kako bi razmenile informacije, koordinirale regulativne pristupe i uskladile politike u vezi sa digitalnim valutama.

Budućnost uticaja digitalnih valuta na monetarnu politiku je predmet spekulacija i ne može se sa sigurnošću predvideti. Međutim, na osnovu raspoloživih podataka i trenutnih trendova, možemo utvrditi neke tendencije koje se pre svega ogledaju u daljem i ubrzanom razvoju blockchain i DLT tehnologije i pojačanom uticaju digitalnih valuta koje će voditi redefinisanju monetarne politike [24]. Banke moraju pratiti i same inicirati nova istraživanja u oblasti digitalnih valuta kako bi stekle što bolji uvid u budućnost njihovog uticaja na monetarnu politiku. U svakom slučaju razvoj tehnologije zahteva usklađivanje regulatornih okvira i promene u pristupu vođenja monetarne politike [10].

Sagledavajući eventualna ograničenja u posmatranom istraživanju dolazimo do toga da su digitalne valute relativno nova pojava, pa se može govoriti o tome da nedostaje dovoljno empirijskih podataka o njihovom uticaju na monetarnu politiku. Dalje, tehnološki napredak u vezi sa digitalnim valutama se ubrzano odvija što znači da neki radovi mogu biti zasnovani na podacima i informacijama koje brzo zastarevaju. Regulatorni okvir i pristupi centralnih banaka i vlada prema digitalnim valutama mogu se značajno razlikovati širom sveta što može rezultirati ograničenjima u opštim zaključcima i generalizacijama. Treba imati na umu da su digitalne valute deo kompleksnog ekonomskog i finansijskog sistema, podložnog uticaju raznih faktora kao što su geopolitički događaji, regulatorne promene, tehnološki napredak i promene u zahtevima tržišta, te ovi faktori mogu biti teški za predviđanje i mogu uticati na rezultate istraživanja.

Istraživanje je utvrdilo da korišćenje digitalnih valuta na postojećem nivou nema značajan uticaj na monetarnu politiku i bankarski sistem te da trenutno ne može da dovede do povećanja rizika od finansijske nestabilnosti. Moramo napomenuti ipak da povećanje korišćenja digitalnih valuta u budućnosti može imati potencijal da dovede do promena politike centralnih banaka [1]. Mogući odgovori centralnih banaka u ograničavanju uticaja digitalnih valuta odnose se na njihovu regulaciju kao i na uvođenje digitalnih valuta centralnih banaka u literaturi poznate kao CBDC. Postoje viđenja da bi uvođenje CBDC sačuvalo koegzistenciju suverenog i privatnog novca u digitalnom svetu, što se ne posmatra kao apstraktna korist već kao osnova finansijske i monetarne stabilnosti, obezbeđivanje konkurencije i efikasnosti na platnim tržištima [21]. Ovo je važno za monetarnu politiku jer centralne banke mogu imati poteškoća u sprovođenju svoje politike ako digitalne valute ne podležu njihovoj regulaciji odnosno ako u nedovoljnoj meri prate dešavanja na ovom dosta kompleksom i neistraženom tržištu.

Na osnovu sprovedenog pregleda u ovoj oblasti dolazimo do zaključka da su potrebna dalja istraživanja u nekoliko oblasti. Postoji potreba da se bolje razumeju makro finansijske implikacije digitalizacije finansijskog tržišta, uključujući potencijal za fragmentaciju tržišta, likvidnost i implikacije na kamatne stope.

Digitalne valute imaju rastući uticaj na monetarnu politiku i bankarski sektor. One predstavljaju novi oblik novca koji izaziva promene u tradicionalnom finansijskom sistemu i pružaju brojne mogućnosti i izazove. Digitalne valute takođe menjaju tradicionalne modele novčanih transakcija i platnog sistema. One omogućavaju brže i jeftinije transakcije, smanjujući potrebu za posrednicima poput banaka. Ovo može imati značajan uticaj na monetarnu politiku i način na koji centralne banke upravljaju novčanom masom. Uticaj digitalnih valuta na monetarnu politiku može biti i regulatorne prirode. Regulatori su suočeni sa izazovom kako pravilno regulisati postojanje i promet digitalnih valuta i njihov uticaj na finansijski sistem. Centralne banke moraju proceniti kako se nositi sa rizicima kao što su sigurnost, prevare, pranje novca i finansiranje terorizma, odnosno posvetiti se problemu upravljanja rizicima [22]. Centralne banke se suočavaju i sa potrebom da razmotre i usvoje inovativne tehnologije kao što su blockchain i DLT kako bi unapredile svoje operacije i održale korak sa digitalnim valutama. Projekcije budućih dešavanja u vezi sa uticajem digitalnih valuta na monetarnu politiku su raznovrsne. Postoji širok spektar mišljenja o tome kako će se digitalne valute dalje razvijati i kakav će biti njihov uticaj na monetarni sistem i bankarski sektor. Glavni nalaz je da digitalne valute imaju sve veći uticaj na monetarnu politiku, ali da postoje brojni izazovi i nejasnoće u vezi sa njihovim daljim razvojem i regulacijom. To zahteva dalje istraživanje, praćenje najnovijih trendova i prilagođavanje monetarne politike novim tehnološkim i finansijskim promenama.

## 4. ZAKLJUČAK

Digitalne valute su postale važan faktor u monetarnoj politici, ali nivo njihovog trenutnog uticaja varira među zemljama. U nekim zemljama, digitalne valute su postale popularne kao sredstvo plaćanja, dok su u drugim zemljama još uvek u fazi eksperimentisanja ili se suočavaju sa regulatornim izazovima. Uticaj digitalnih valuta na monetarnu politiku može biti raznolik. Digitalne valute mogu imati uticaj na stabilnost finansijskog sistema, kontrolu inflacije, upravljanje novčanom politikom i pružanje finansijskih usluga. Centralne banke širom sveta prate razvoj digitalnih valuta i razmatraju svoje odgovore na taj fenomen, uz pažljivo definisanje dizajna i okvira za implementaciju [9]. Neki od mogućih odgovora uključuju istraživanje mogućnosti izdavanja sopstvenih digitalnih valuta, regulativne mere za zaštitu potrošača i sprečavanje pranja novca, kao i saradnju sa drugim relevantnim akterima na internacionalnom nivou. Budućnost uticaja digitalnih valuta na monetarnu politiku je neizvesna. Dok neke projekcije ukazuju na to da će digitalne valute postati sveprisutne i značajno izmeniti finansijski pejzaž, druga predviđanja naglašavaju izazove u pogledu regulative, sigurnosti i usvajanja. Rastući razvoj FinTech kompanija i njihov uticaj na finansijski sektor a posebno na deo koji se odnosi na formiranje promena u finansijskom posredovanju za koji su do sad bile zadužene isključivo banke [13, 4] savakako će doprineti daljem razvoju digitalnih valuta.

Radovi koji se bave uticajem digitalnih valuta na monetarnu politiku i bankarski sektor imaju određena ograničenja. Moguće je da neki radovi ne obuhvataju sve aspekte problema, da su bazirani na ograničenom broju izvora ili da su zasnovani na pretpostavkama koje se mogu promeniti tokom vremena. Uzimajući u obzir da digitalne valute imaju širok spektar uticaja na monetarnu politiku, preporučljivo je da buduća istraživanja obuhvate različite aspekte, kao što su uticaj na stabilnost finansijskog sistema, upravljanje novčanom politikom, finansijsku inkluziju, kontrolu inflacije i sl. Ovo će omogućiti dublje razumevanje kompleksnosti teme.

Kako se digitalne valute razvijaju i primenjuju na globalnom nivou, a različite zemlje suočavaju sa specifičnim izazovima i prilozima, preporučljivo je u budućnosti analizirati iskustva različitih zemalja i njihove specifične odgovore na uticaj digitalnih valuta na monetarnu politiku. Vrlo je malo radova koji se oslanjaju na kombinaciju kvantitativnih i kvalitativnih istraživačkih metoda, što može pružiti obuhvatniji uvid u temu. Imajući u vidu da su digitalne valute tehnološki napredan fenomen koji se brzo razvija, potrebno je razmisliti o budućim trendovima i inovacijama u vezi sa digitalnim valutama i njihovom interakcijom sa monetarnom politikom. U budućnosti bi trebalo razmotriti saradnju između različitih disciplina kao što su ekonomija, finansije, informaciona tehnologija, pravo i sociologija kako bi se dobila celovitija slika o temi.

## LITERATURA

[1] BadawiI, E. & Jourdan, G., 2020. Cryptocurrencies Emerging Threats and Defensive Mechanisms: A Systematic Literature Review. *IEEE Access,* Tom 8, pp. 21-37.

[2] Balvers, R. & McDonald, B., 2021. Designing a global digital currency. *Journal of International Money and Finance,* 111(C), pp. 3-44.

[3] Barrdear, J. & Kumhof, M., 2019. *The Macroeconomics of Central-Bank-,* London: Bank of England.

[4] Boot, A., Hoffmann, P., Laeven, L. & Ratnovski, L., 2020. Financial Intermediation and Technology: What's Old, What's New?. *IMF Working Papers,* 2020(161), pp. 4-24.

[5] Chen, W. & Phelan, G., 2023. *Digital Currency and Banking-Sector Stability,* Washington: Office of financial research.

[6] Dimitrijević, M., 2021. Alternativne digitalne valute u međunarodnom monetarnom pravu - global stablecoins. *Zbornik radova Pravnog fakulteta u Nišu,* 60(93), pp. 13-27.

[7] Fiedler, S., Gern, K. & Stolzenburg, U., 2019. *The Impact of Digitalisation on the Monetary System,* Luxembourg: European parlament.

[8] Fung, S. C. B. & Halaburda, H., 2016. *Ben S. C. Fung and Hanna Halaburda,* Ottawa: Bank of Canada.

[9] BIS, 2021. Central bank digital currencies: financial stability implications, Basel

[10] Hübenbecker, U., 2023. *Is nobody interested in the future of banks? a scoping literature review on the state of the debate.* [Na mreži] Available at: https://link.springer.com/article/10.1007/s11301-023-00334-8 [Poslednji pristup 23 May 2023].

[11] Jakšić, M., Todorović, V. & Matić, J., 2022. Uticaj digitalne valute na bankarski sektor u Evropi. *Ekonomske teme,* 60(4), pp. 481-494.

[12] Kasri, R. A., Indrastomo, B. S., Hendranastit, N. D. & Prasetyo, M. B., 2022. Digital payment and banking stability in emerging economy with dual. *Heliyion,* 8(11), p. e11198.

[13] Kerényi, A. & Molnár, J., 2017. The Impact of the Fintech Phenomenon – Radical Change Occurs in the Financial Sector?. *Financial and Economic Review,* 16(3), pp. 32-50.

[14] Li, D., Huang, J. & L, W., 2019. The Impact of Digital Currency on the Financial System:Universal Decentralized Digital Currency, Is It Possible?. *Journal of Economics and Public Finance,* 5(2), p. p203.

[15] Lukonga, I., 2023. Monetary Policy Implications of Central Bank Digital Currencies: Perspectives on Jurisdictions with Conventional and Islamic Banking Systems, Washington: International Monetary Fund.

[16] Maiti, M., Grubisic, Z. & Vukovic, D., 2020. Dissecting Tether's Nonlinear Dynamics. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity,* 6(4), p. 161.

[17] Martin, V., 2021. Digitalne valute centralnih banaka. *Bankarstvo,* 50(3), pp. 109-139.

[18] Mishchenko, V. & Naumenkova, S., 2021. The impact of digital currency on the transformation of monetary policy. *Three Seas Economic Journal,* 2(4), pp. 43-48.

[19] Morabito, V., 2016. Digital Currencies and Distributed Ledgers. U: *The Future of Digital Business Innovation.* Cham: Springer, pp. 43-60.

[20] Nyumuah, F., 2018. An Empirical Analysis of the Monetary Transmission Mechanism of Developing Economies: Evidence from Ghana. *International Journal of Economics and Finance,* 10(4), pp. 72-83.

[21] Panetta, F., 2022. Central bank digital currencies: defining the problems, designing the solutions, Frankfurt: Europeac central bank.

[22] Poloz, S. S., 2021. Technological progress and monetary policy: Managing the fourth industrial revolution. *Journal of International Money and Finance,* Tom 114, p. e102373.

[23] Prasad, E., 2022. New era for money. *Finance & Development,* September, 59(3), pp. 4-9.

[24] Tomić, N. & Todorović, V. Č. B., 2020. The potential effects of cryptocurrencies on monetary policy. *Journal of applied economics,* 17(1), pp. 37-48.

[25] Vujević, D., 2023. The impact of digital money on monetary ahd fiscal policy. *Ekonomika preduzeća,* 71(1), pp. 65-76.

[26] Zhu, T., Liao, C., Zhou, Z. P. Q.-K. & Zhang, Q., 2022. Fast Popularity Value Calculation of Virtual Cryptocurrency Trading Stage Based on Machine Learning. *Frontier in Physics,* 2021(9).

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ФИНАНСИРАЊЕ НАУЧНО-ИСТРАЖИВАЧКИХ ПРОЈЕКАТА НА УНИВЕРЗИТЕТУ ОДБРАНЕ

# FINANCING OF SCIENTIFIC RESEARCH PROJECTS AT THE UNIVERSITY OF DEFENSE

МИЛЕНА КНЕЖЕВИЋ[1], АЛЕКСАНДАР НЕШЕВСКИ [2] , ЖАРКО ТОМИЋ[3]

[1] Војна академија Универзитета одбране у Београду, milena.knezevic@mod.gov.rs
[2] Универзитет одбране у Београду, anesevski@gmail.com
[3] Сектор за политику одбране МО, zarko.tomic@mod.gov.rs

---

***Резиме:*** *Финансирање научно-истраживачких пројеката на Универзитету одбране поред законске обавезе представља и кључну функцију развоја и усавршавања научног и наставног кадра. Поред директних стимулација кроз исплату „хонорара“ за учешће на научно-истраживачким пројектима, финансирају се путовања и размене искустава како у земљи тако и у иностранству али и опремање савремених лабараторија и кабинета и набавка реагенаса и другог материјала за потребе реализације одобрених пројеката. Финансирање научно-истраживачких пројеката реализује се из више извора и места али са заједничким циљем, унапређењем стања у области војног образовања и војне научноистраживачке делатности.*

*Циљ рада је да укаже на значај „одговарајућег“ планирања финансијских средстава за развој војног обазовања и војне научноистраживачке делатности. Наравно намена утрошка датих средстава је веома важна и од пресудног значаја за квалитет војног образовања и војне научноистраживачке делатности. Веома је важно нагласити да се законито и наменско трошење опредељених финансијских средстава подразумева. Али, да непознавање процедура утрошка финансијских средстава и многи други фактори могу проузроковати да се опредељена финансијска средства не утроше иако су преко потребна Универзитету одбране. Сходно томе, основна хипотеза јесте да познавање процедура и прописа а превасходно контног плана директно утиче на реализацију финансијских средстава планираних и опредељених за научноистраживачке пројекте Универзитета одбране а у крајњем и на његове резултате рада. Поред општих научних метода, с обзиром на предмет и циљ истраживања, тежишно је коришћена компаративна метода којом је анализирано финансирање издатака и расхода Универзитета одбране у периоду од 2016. до 2022. године по изворима финансирања, као и метода садржаја, односно извора финансирања у истом периоду.*

***Кључне речи:*** *финансирање, извори финансирања, научноистраживачки пројекти.*

***Abstract:*** *Financing scientific research projects at the University of Defense, in addition to the legal obligation, also represents a vital function in developing and improving scientific and teaching staff. In addition to direct incentives through the payment of "fees" for participation in scientific research projects, trips and exchanges of experience are financed both in the country and abroad, as well as the equipping of modern laboratories and cabinets and the procurement of reagents and other materials for the implementation of approved projects. Financing scientific research projects is realised from several sources and places but with a common goal: improving military education and scientific research activities.*

*The paper aims to point out the importance of "proper" planning of financial resources for the development of military training and military scientific research activities. Of course, spending the given funds is very important and crucial for the quality of military education and military scientific research activities. It is essential to emphasise that designated financial resources' legal and purposeful spending is understood. However, not knowing the procedures for spending financial resources and many other factors can cause the selected financial resources not to be paid even though the University of Defense really needs them. Accordingly, the primary hypothesis is that knowledge of procedures and regulations, and primarily of the chart of accounts, directly affects the realisation of financial resources planned and determined for the scientific research projects of the University of Defense and, ultimately, its work results. In addition to* *general scientific methods, considering the subject and goal of the research, a comparative method was mainly used to analyse the financing of expenditures and expenditures of the University of Defense in the period from 2016 to 2022, by funding sources, as well as the way of content, i.e. sources of funding in the same period.*

***Keywords:*** *financing, sources of funding, scientific research projects.*

## 1. УВОД

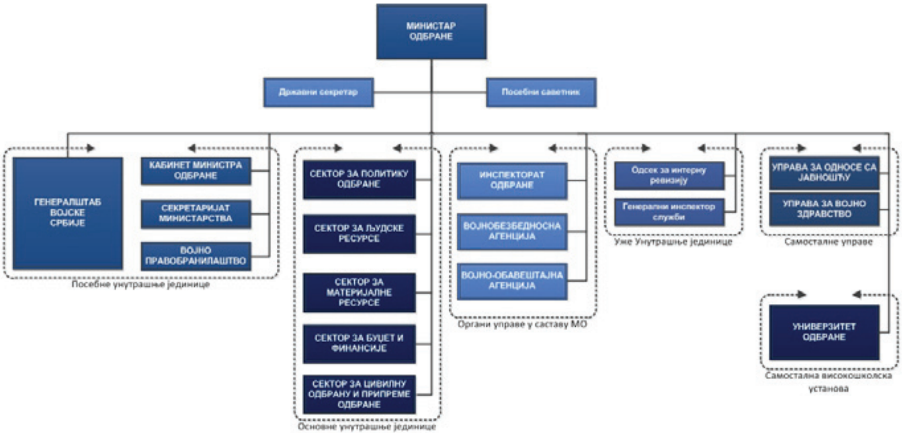
Војно образовање у Србији датира од 1850. године, када је формирана Артиљеријска школа и од тада пролази кроз разне фазе и изазове у складу са променама у друштву. Међутим, војно образовање је не само опстало него се и развијало, пратило све савремене трендове како у образовању тако и у војсци. Јер војно образовање не подразумева искључиво образовање како то раде остали универзитети у Србији, већ је то обликовање и школавање будућих официра за рад у савременој војсци са софистицираном техником и у најсложенијим условима. Веома је важно нагласити да војно образовање, поред трендова у друштву треба да прати и трендове у војсци. Стога је развој војног образовања и војне научноистраживачке делатности императив свих армија савременог светског поретка.

Пратећи промене у високом образовању Републике Србије, Министарство одбране и Војска Србије су предложили а Влада Републике Србије усвојила и 2011. године формирала Универзитет одбране у Београду. Универзитет одбране у Београду је првобитно основан са Војном академијом и Медицинским Факултетом ВМА. Касније су Универзитету додати Институт за стратегијска истраживања и Школа националне одбране.

Као високошколска установа, Универзитет одбране обавља делатност високог образовања кроз академске студијске првог, другог и тећег степена из више научних области у оквиру образовно-научних поља: друштвено хуманистичких, техничко технолошких и медицинских наука.

Финансирање научноистраживачких пројеката Универзитета одбране у оквиру сва три образовно-научна поља регулисано је Законом о буџетском систему Републике Србије и осталим нормативно правним актима Министарства одбране и Војске Србије [1, 3].

## 2. ФИНАНСИРАЊЕ УНИВЕРЗИТЕТА ОДБРАНЕ



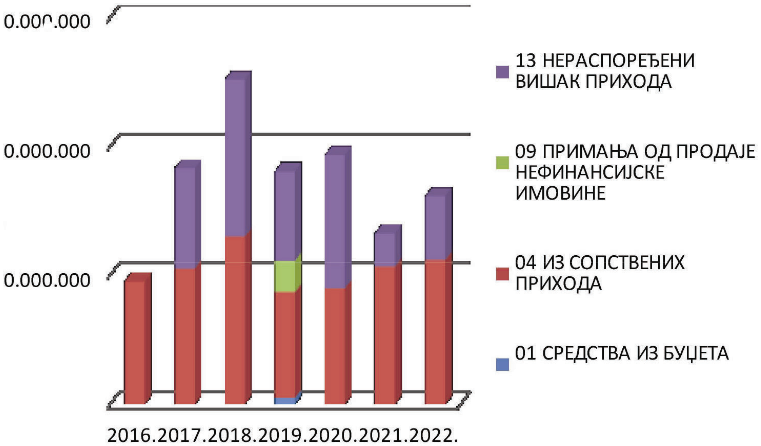
**Слика 1**: Организација Министарства одбране Републике Србије
Извор:www.mod.gov.rs

Универзитет одбране је од оснивања део Министарства одбране и његово финансирање је регулисано свим законским и подзаконским актима за буџетске кориснике. Обзиром да је Министарство одбране директни буџетски корисник, све процедуре око израде и извршења буџета регулисане су Законом о буџетском систему.

Од оснивања Универзитета, односно од 2011. године финансирање свих активности је реализовано средствима из буџета. Обзиром да је то био период рестриктивног финансирања буџетских корисника Републике Србије и финансирање војног образовања је било рестриктивно, што се одразило на снабдевање материјалне базе али и на модернизацију исте. Менаџмент Универзитета и Министарства одбране је 2015. године донео одлуку да формира Буџетски фонд за развој војног образовања и војне научноистраживачке делатности како рестриктивно финансирање не би негативно утицало на квалитет војног образовања [2].

Буџетски фонд за развој војног образовања и војне научноистраживачке делатности је формиран са циљем да сопствени приходи које остваре Војна академија и Медицински факултет ВМА по основу образовања и научноистраживачке делатности, остану на располагању Универзитету и да се тако обезбеде услови за развој капацитета војног образовања [4]. Смисао овог Буџетског фонда јесте да се поред већ одобрених буџетских средстава користе и додатна финансијска средства, чиме би се увећала укупно расположива финансијска средства Универзитета [5].

Прва година када су Законом о буџету планирана финансијска средства из Буџетског фонда је била 2016. година и тада је планирано приближно 80 милиона динара из сопствених прихода. Због непостојања нормативне регулативе за утрошак ових средстава у току 2016. године нису реализована финансијска средства из Буџетског фонда и у целости су пренета у 2017. годину као извор 13 – Нераспоређени вишак прихода из претходних година.



**Графикон 1**. Анализа финансирања Универзитета из Буџетског фонда у периоду од 2016. до 2022. године, по зворима финансирања БФ

У току 2017. године, у Буџетском фонду, планирано је 103,5 милиона динара из сопствених прихода и у целости неутрошени приходи из претходне године као извор 13.

Као што је и приказано на Графикону 1, у току 2018. године је слична ситуација као и у 2017. години, планирано је нешто више сопствених прихода и неутрошени приход из претходне године. Међутим у 2019. години, поред ова два извора финансирања планирана су и финансијска средства из буџета, извор 01 као и примања од продаје нефинансијске имовине, извор 09.

У 2020. и 2021. години за Буџетски фонд планирана су финансијска средства искључиво из сопствених прихода и нераспоређеног вишка прихода.

Од 2022. године, Буџетски фонд не постоји и уведена је програмска активност Унапређење стања у области војног образовања и војне НИД са истим циљем додатног финансирања капацитета војног образовања. Извори финансирања су остали исти као и за Буџетски фонд.

## 3. ФИНАНСИРАЊЕ НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКИХ ПРОЈЕКАТА

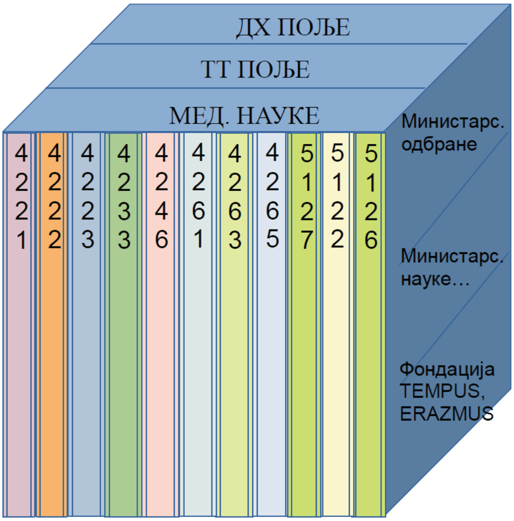
Као што је већ наведено на Универзитету одбране реализују се научноистраживачки пројекти из образовно-научних поља: друштвено хуманистичких, техничко технолошких и медицинских наука (Слика 2).

**Слика 2:** НИ пројекти Универзитета одбране

Финансирање пројеката Министарства одбране Републике Србије, којима се развија наоружање и војна опрема регулисано је преко Буџетског фонда за наоружање и војну опрему. Међутим, пројекти научноистраживачке делатности из сва три научна поља Универзитета одбране финансирају се са више места:

- средствима из буџета која су опредељена Министарству одбране (пројекти које одобри министар одбране);
- средствима из Буџетског фонда за развој војног образовања и војне научноистраживачке делатности (пројекти које одобри министар одбране);
- средствима Министарства науке, технолошког развоја и иновација (пројекти које одобри дато министарство) и
- средствима ТЕМПУС И ЕРАСМУС фондација, за пројекте које они финансирају.

Од 2023. године уместо Буџетског фонда за развој војног образовања и војне научноистраживачке делатности уведена је Програмска активност под истим насловом и са истим циљем. Извори финансирања остају исти [6]. Веома је важно нагласити да познавање Контног плана за буџетски систем представља пресудну улогу приликом планирања реализације активности свих пројеката а нарочито оних које финансира Министарство одбране, било из буџета или из сада већ Програмске активности (Слика3).



**Слика 3:** Извори финансирања пројеката УО и финансирање истих по контима економске класификације

Приликом планирања активности научноистраживачких пројеката, планирају се и финансијска средства за реализацију истих и стога је веома важно поред величине финансијских средстава и „правилно“ одредити Конто економске класификације. На пример, уколико је потребно планирати набавку реагенаса за реализацију датог пројекта потребно је утврдити величину потребних средстава и планирати исте по конту 4265. За реализацију набавке информатичке опреме, конто 5122 или опреме за образовање 5126. Уколико се не одреди правилно конто економске класификације, набавка средстава или услуга за реализацију датог пројекта се неће реализовати. Приликом планирања активности за реализацију пројеката које финансирају Министарство науке или ЕРАСМУС фондација одобравају се и средства *„оверхејт“* за исплату хонорара лицима која реализују јавне набавке тих реагенаса, опреме и слично. Планирање путовања, котизација, боравка у иностранству и слично треба правилно проценити и наменски реализовати приликом реализације активности пројеката [7].

## 4. ЗАКЉУЧАК

Без обзира на изворе финасирања, приликом планирања активности за реализацију научноистраживачких пројеката које финансира Министарство одбране, веома је важно правилно планирати финансијска средства по одговарајућим контима. Познавање Контног плана и правилно опредељење финансијских средстава представља веома важну улогу приликом планирања пројеката и дирекно утиче на њихову реализацију. Јер уколико се средства не планирају за реализацију неких активности правилно и по потребним контима исте се не могу ни реализовати што у крајњем утиче на реализацију датог пројекта.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Вукасовић, М., (2009). Финансирање високог образовања у југоисточној Европи. *Центар за образовне политике*, 2(3), 101-124.

[2] Кнежевић М., Николић, С. и Нешевски, А. (2021). Контрола буџета у функцији цивилне демократске контроле војске у Републици Србији. *Војно дело*, 2, 103-120.

[3] Мирић, Д. и Нешевски, А. (2016). Унапређење наћина финансирања Универзитета одбране са становишта стратегијског управљања. *Војно дело*, 3, 223-241.

[4] Nugroho, D. A., & Purwanti, E. Y. (2021). Impact of Military Expenditure on Economic Growth: Encouraging or Constraining? *Journal of Economics and Policy,* 14(1), 9-20.

[5] Кнежевић М. (2022). Издаци и расходи за потребе одбране Републике Србије са посебним осврtом на време пандемије КОВИД-19. *Војно дело*, 2, 95-112.

[6] Topal, H. M., Unver, M. & Turedi, S. (2020). The Military Expenditures and Economic Growth Nexus: Panel Bootstrap Granger Causality Evidence from NATO Countries. *Panoeconomicus,* 69 (4), 555-578.

[7] Нешевски, А. (2015). Финансирање расхода одбране – модел финансирања Универзитета одбране. *Економски факултет, Косовска Митровица*, 72-97.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ПРОЦЕНА ВРЕДНОСТИ ОСИГУРАВАЈУЋЕ КОМПАНИЈЕ ПРИМЕНОМ МЕТОДА ДИСКОНТОВАНОГ НОВЧАНОГ ТОКА

# VALUATION OF AN INSURANCE COMPANY USING THE DISCOUNTED CASH FLOW METHOD

МИРЕЛА МИТРАШЕВИЋ[1], ЈЕЛЕНА КОЧОВИЋ[2], ЈЕЛЕНА СТАНОЈЕВИЋ[3]

[1] Факултет пословне економије Бијељина, Универзитет у Источном Сарајеву,
mirela.mitrasevic@fpe.ues.rs.ba
[2] Универзитет у Београду – Економски факултет, Београд, jelena.kocovic@ekof.bg.ac.rs
[3] Универзитет у Београду – Економски факултет, Београд, jelena.stanojevic@ekof.bg.ac.rs

***Резиме:*** *Предмет истраживања овог рада је процена вредности осигуравајуће компаније. Циљ је да се покаже специфичност примене класичног метода дисконтованог новчаног тока за процену вредности предузећа приликом одређивања вредности осигуравајуће компаније. У модел за процену вредности осигуравајуће компаније се укључују подаци из финансијских извештаја о перформансама осигуравајуће компаније у прошлости и њихове пројекције у будућности за довољно дуг временски хоризонт, а које имају кључни утицај на њену вредност. На основу опште прихваћене методологије у научној теорији и пословној пракси биће одређена вредност изабране осигураваује компаније користећи податке из њених финансијских извештаја као и званичне податке Народне банке Србије (НБС) за потребне показатеље тржишта осигурања.*

***Кључне речи:*** *вредност осигуравајуће компаније, резидуална вредност, дисконтна стопа.*

***Abstract:*** *The subject of research in this paper is the valuation of an insurance company. The aim is to demonstrate the specificity of applying the classical discounted cash flow method when determining the value of an insurance company. The valuation model for an insurance company incorporates data from financial statements regarding the company's past performances and their projections into the future over a sufficiently long time horizon. These data play a crucial role in determining the company's value. Based on the generally accepted methodology in scientific theory and business practice, the value of the selected insurance company will be determined using data from its financial statements, as well as official data from the National Bank of Serbia (NBS) for relevant insurance market indicators.*

***Keywords:*** *value of an insurance company, residual value, discount rate.*

## 1. УВОД

Процена вредности осигуравајуће компаније базира се на примени класичних метода за процену вредности предузећа уз уважавање њених специфичности. Код процене вредности предузећа постоје различити концепти који обухватају различите приступе и методе. Тема овог рада је процена вредности осигураваује компаније коришћењем дисконтовања будућих резултата који обухватају дисконтовани нето новчани ток и/или дисконтовани будући добитак. Овај приступ се примењује када се очекује да ће доћи до одређених промена у пословању осигуравајуће компаније (нпр. промена у структури портфеља) или када се могу пројектовати будући резултати. Пројектовање резултата се врши до тренутка када се очекује период стабилног раста, а потом се на основу стабилизованог резултата утврђује резидуална вредност.

У раду за процену вредности осигуравајуће компаније ће бити коришћен метод дисконтовања новчаног тока који се најчешће користи у пракси.

## 2. МЕТОД ДИСКОНТОВАНОГ НОВЧАНОГ ТОКА (DNT) ЗА ВРЕДНОВАЊЕ ОСИГУРАВАЈУЋЕ КОМПАНИЈЕ

Процес вредновања осигуравајуће компаније применом метода ДНТ обухвата [9, 5, 4]:

1. одређивање нето новчаног тока (*NNT*),
2. предвиђање *NNT* компаније током иницијалног периода раста,
3. одређивање дисконтне стопе ,
4. утврђивање резидуалне вредности компаније на крају периода пројекције,
5. обрачун вредности компаније.

Пројектовани новчани ток осигуравајуће компаније се саставља на основу пројектованих ставки биланса стања и биланса успеха компаније. Пројекција ставки из биланса стања и биланса успеха врши се на основу историјских података из финансијских извештаја за најмање 5 претходних година. Приликом пројектовања новчаног тока потребно је узети у обзир дужину пројектованог периода која је повезана са моментом достизања стабилног нивоа добити и нето новчаног тока. То је период у оквиру кога су евидентни различити остварени приходи, добит и нето новчани ток и на крају тог периода предвиђа се период стабилне стопе раста новчаног тока. Дужина пројектованог периода не може бити краћа од 5 година. У моделу смо у трећем делу рада приликом одређивања вредности изабране осигуравајуће компаније пројектовали новчани ток за период од 10 година. После десете године претпоставили смо стабилну стопу раста новчаног тока.

Садашња вредност нето новчаног тока након *n* година је:

$$SV = \frac{NNT_1}{(1+r)} + \frac{NNT_2}{(1+r)^2} + \frac{NNT_3}{(1+r)^3} + \ldots + \frac{NNT_n}{(1+r)^n}$$

Према моделу константног раста слободног новчаног тока, вредност осигуравајуће компаније се израчунава на следећи начин:

$$V_0 = \frac{NNT_0(1+g)}{(1+r)} + \frac{NNT_0(1+g)^2}{(1+r)^2} + \ldots + \frac{NNT_0(1+g)^n}{(1+r)^n} = \sum_{t=1}^{n} \frac{NNT_0(1+g)^n}{(1+r)^n}$$

односно:

$$V_0 = \frac{NNT_1}{(1+r)}\left[1 + \frac{(1+g)}{(1+r)} + \frac{(1+g)^2}{(1+r)^2} + \ldots + \frac{(1+g)^{n-1}}{(1+r)^{n-1}}\right]$$

Вредност осигуравајуће компаније укључујући након *n* година раст нето новчаног тока по стабилној стопи раста би била једнака збиру садашње вредности нето новчаног тока и резидуалне вредности:

$$SV = \frac{NNT_1}{(1+r)} + \frac{NNT_2}{(1+r)^2} + \frac{NNT_3}{(1+r)^3} + \ldots + \frac{NNT_n}{(1+r)^n} + \frac{NNT_n(1+g)}{r-g}\frac{1}{(1+r)^n},$$

где су:

$\frac{NNT_1}{(1+r)} + \frac{NNT_2}{(1+r)^2} + \frac{NNT_3}{(1+r)^3} + \ldots + \frac{NNT_n}{(1+r)^n}$ - збир садашњих вредности пројектованих нето новчаних токова (*SVn*),

$\frac{NNT_n(1+g)}{r-g}\frac{1}{(1+r)^n}$ - резидуална вредност (*RV*).

### Дисконтна стопа

Приликом одређивања вредности осигуравајуће компаније помоћу метода дисконтованог новчаног тока веома је важно одредити правилно дисконтну стопу. Дисконтна стопа представља очекивану стопу повраћаја инвестиционог улагања, узимајући у обзир све ризике. Ова стопа је неопходна за утврђивање цене сопственог капитала. Иако је дефинисање стопе по којој се врши дисконтовање увек делимично произвољно у моделирању вредности већина модела произилази из принципа Модела вредновања капитала (енгл. Capital Asset Pricing Model - CAPM) [1].

Према *CAPM* методи дисконтна стопа, као цена капитала, се може поделити на два дела – неризичну стопу и премију за ризик [7, 6, 3].

Очекивани принос = Неризична стопа + Ризико премија , односно:

$$E(r) = r_f + \beta(r_m - r_f)$$

где су:

$r_f$ - неризична стопа,

$r_m$ - очекивани тржишни принос,

$\beta$ - бета фактор.

Неризична стопа представља очекивани принос на безризичну активу. За неризичну стопу користићемо просечну пондерисану каматну стопу на десетогодишње динарске обвезнице која у Србији износи 5,60%, према подацима НБС [11].

Ризико премија је минимална стопа приноса којом очекивани принос на ризичну активу мора да прелази неризичну стопу. Ризик са којим се инвеститори сусрећу приликом улагања средстава се одређује као разлика између стварног и очекиваног приноса. Када се стварни принос поклапа са очекиваним, тада говоримо о неризичном улагању. Разлика између очекиване и стварне стопе се мери варијансом или стандардном девијацијом. Што је веће одступање стварног од очекиваног приноса, то је и варијанса већа. Премију за ризик у износу од 2,8% одредили смо на бази разлике између процентуалног прираста вредности *BELEXline* индекса [10] (којим се апроксимира тржишни портфолио) и неризичне стопе.

Бета фактор представља коефицијент правца (нагиб) карактеристичне линије акције која описује однос између приноса на посматрану акцију и тржишног портфолија. Он објашњава за колико ће се променити стопа приноса акције ако се стопа приноса тржишног портфолија промени за један. Бета је заправо мера ризика нестабилности акција компаније којима се тргује на берзи. Вредност бета фактора за осигуравајућу компанију А смо израчунали и износи 0,7.

Цена капитала ће бити израчунати на основу података из следеће табеле.

**Табела 1:** Калкулација цене капитала за осигуравајућу компанију А

| | |
|---|---|
| Неризична стопа | 5,60% |
| Премија за ризик | 2,80% |
| Бета (β) | 0,7 |
| Цена капитала | 7,56% |

**Цена капитала = Неризична стопа + Премија за ризик x β=**
=5,6% + 2,80% x 0,7 = 7,56%

Дисконтна стопа у моделу дисконтованог новчаног тока није ништа друго него цена капитала осигуравајуће компаније. Захтевана стопа приноса је уједно и цена капитала. Цена капитала мора адекватно одражавати ризик акционарског друштва, а током периода у коме се процењује терминална вредност би требало да одражава чињеницу да је акционарско друштво ушло у стабилно стање [8].

## 3. ПРОЦЕНА ВРЕДНОСТИ ИЗАБРАНЕ ОСИГУРАВАЈУЋЕ КОМПАНИЈЕ

На основу података из финансијских извештаја за 5 претходних година изабране осигуравајуће компаније А (Табела 2.), извршили смо процену вредности користећи претходно представљени метод DNT.

**Табела 2:** Биланс стања и биланс успеха осигуравајуће компаније А (000 динара)

| **Биланс стања** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **година** | **2018** | **2019** | **2020** | **2021** | **2022** |
| **Актива** | | | | | |
| Основна средства | | | | | |
| некретнине и стална средства | 7.452.939 | 8.666.231 | 10.474.261 | 11.709.741 | 11.353.720 |
| дугорочна финансијска улагања | 8.588.769 | 7.856.910 | 8.120.861 | 8.191.979 | 9.400.242 |
| **укупно основна средства** | **16.041.708** | **16.523.141** | **18.595.122** | **19.901.720** | **20.753.962** |
| техничке резерве реосигуравача | | | | | |
| краткорочна потраживања и пласмани | | | | | |
| потраживања | 135.700 | 313.765 | 451.737 | 450.107 | 502.674 |
| пласмани | 1.256.634 | 1.451.157 | 1.663.090 | 1.327.117 | 1.460.481 |
| **укупна потраживања** | **1.392.334** | **1.764.922** | **2.114.827** | **1.777.224** | **1.963.155** |
| Одложени порези | | | | | |
| Остала актива | 471.304 | 374.457 | 96.704 | 160.652 | 137.898 |
| Одложени трошкови прибаве осигурања | 310.853 | 119.026 | 213.021 | 174.867 | 209.233 |
| **укупно актива** | **18.216.199** | **18.781.546** | **21.019.674** | **22.014.463** | **23.064.248** |
| | | | | | |
| **Обавезе** | | | | | |
| преносна премија | 4.776.083 | 5.445.719 | 5.733.557 | 5.984.574 | 6.106.119 |
| резервисане штете и остале резерве | 3.130.188 | 3.340.842 | 3.563.737 | 3.641.359 | 4.154.120 |
| **бруто техничке резерве** | **7.906.271** | **8.786.561** | **9.297.294** | **9.625.933** | **10.260.239** |
| Обавезе из пословања | | | | | |
| - везана за осигурање | 449.006 | 317.227 | 531.752 | 502.939 | 305.382 |
| - везана за реосигурање | | | | | |
| **укупне обавезе из пословања** | **449.006** | **317.227** | **531.752** | **502.939** | **305.382** |
| трошкови прибаве пренети у реосигурање | | | | | |
| **сопствени капитал** | 9.860.922 | 9.677.758 | 11.190.628 | 11.885.591 | 12.498.627 |
| **укупна пасива** | **18.216.199** | **18.781.546** | **21.019.674** | **22.014.463** | **23.064.248** |

| **Биланс успеха** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **година** | **2018** | **2019** | **2020** | **2021** | **2022** |
| бруто фактурисана премија | 9.339.660 | 10.619.160 | 11.225.944 | 11.920.751 | 11.740.646 |
| премија пренета у реосигурање | (222.771) | (264.773) | (275.233) | (300.948) | (309.958) |
| **нето фактурисана премија** | **9.116.889** | **10.354.387** | **10.950.710** | **11.619.802** | **11.430.688** |
| нето зарађена премија | 8.656.524 | 9.675.760 | 10.663.721 | 11.372.369 | 11.310.583 |
| нето одштетни захтеви | (3.324.952) | (5.380.214) | (5.404.599) | (5.366.648) | (5.058.538) |
| нето оперативни трошкови | (4.681.118) | (4.303.324) | (4.318.987) | (4.393.425) | (4.387.361) |
| **резултат осигурања** | **650.454** | **(7.777)** | **940.135** | **1.612.296** | **1.864.684** |
| Алоцирани инвестициони принос | | | | | |
| **технички резултат** | 650.454 | (7.777) | 940.135 | 1.612.296 | 1.864.684 |
| укупни резултат од инвестирања | 156.064 | 237.297 | 189.472 | 185.634 | 157.223 |
| инвестициони трошкови | | | | | |
| **нето инвестициони резултат** | **156.064** | **237.297** | **189.472** | **185.634** | **157.223** |
| **профит/(губитак) пре пореза** | **806.518** | **229.520** | **1.129.607** | **1.797.930** | **2.021.907** |
| порез на добит | (120.978) | (34.428) | (169.441) | (269.690) | (303.286) |
| **нето профит** | **685.540** | **195.092** | **960.166** | **1.528.241** | **1.718.621** |

При процени вредности осигуравајуће компаније користили смо методу дисконтовања будућих новчаних токова применом *CAPM* приступа.

У Табели број 3. приказани су пројектовани биланс стања и биланс успеха од 2023. до 2033. године.

**Табела 3:** Пројектовани биланс стања и биланс успеха за осигуравајућу компанију А (000 динара)

**Биланс стања**

| Година | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Актива** | | | | | | | | | | | |
| Основна средства | | | | | | | | | | | |
| некретнине и стална средства | 10.223.349 | 10.473.673 | 10.717.434 | 10.953.980 | 11.429.380 | 11.648.422 | 11.857.961 | 11.813.929 | 11.761.737 | 11.701.042 | 11.631.486 |
| дугорочна финансијска улагања | 12.644.467 | 13.490.100 | 14.378.254 | 15.310.604 | 16.648.304 | 17.688.053 | 18.777.796 | 19.517.535 | 20.281.112 | 21.069.224 | 21.882.585 |
| **укупно основна средства** | **22.867.816** | **23.963.773** | **25.095.687** | **26.264.584** | **28.077.683** | **29.336.475** | **30.635.758** | **31.331.464** | **32.042.849** | **32.770.265** | **33.514.071** |
| краткорочна потраживања и пласмани | | | | | | | | | | | |
| потраживања | 479.018 | 488.599 | 498.371 | 508.338 | 518.505 | 528.875 | 539.452 | 550.242 | 561.246 | 572.471 | 583.921 |
| пласмани | 1.556.810 | 1.587.946 | 1.619.705 | 1.652.099 | 1.685.141 | 1.718.844 | 1.753.221 | 1.788.285 | 1.824.051 | 1.860.532 | 1.897.742 |
| **укупна потраживања** | **2.035.828** | **2.076.545** | **2.118.076** | **2.160.437** | **2.203.646** | **2.247.719** | **2.292.673** | **2.338.527** | **561.246** | **572.471** | **583.921** |
| Остала актива | (1.753.995) | (1.807.050) | (1.862.791) | (1.921.331) | (1.979.126) | (2.044.162) | (2.112.378) | (2.185.844) | (437.459) | (478.903) | (521.940) |
| Одложени трошкови прибаве осигурања | 428.173 | 436.736 | 445.471 | 454.381 | 463.468 | 472.738 | 482.192 | 491.836 | 501.673 | 511.706 | 521.940 |
| **укупно актива** | **23.577.823** | **24.670.005** | **25.796.443** | **26.958.070** | **28.765.671** | **30.012.769** | **31.298.245** | **31.975.982** | **32.668.310** | **33.375.540** | **34.097.992** |
| | | | | | | | | | | | |
| **Обавезе** | | | | | | | | | | | |
| преносна премија | 6.107.484 | 6.229.634 | 6.354.227 | 6.481.311 | 6.610.937 | 6.743.156 | 6.878.019 | 7.015.580 | 7.155.891 | 7.299.009 | 7.444.989 |
| резервисане штете и остале резерве | 4.033.454 | 4.160.096 | 4.290.189 | 4.423.823 | 4.561.085 | 4.702.069 | 4.846.867 | 4.995.577 | 5.148.296 | 5.305.126 | 5.466.169 |
| **бруто техничке резерве** | **10.140.939** | **10.389.730** | **10.644.416** | **10.905.134** | **11.172.022** | **11.445.225** | **11.724.886** | **12.011.156** | **12.304.187** | **12.604.135** | **12.911.158** |
| Обавезе из пословања | | | | | | | | | | | |
| - везана за осигурање | 479.018 | 488.599 | 498.371 | 508.338 | 518.505 | 528.875 | 539.452 | 550.242 | 561.246 | 572.471 | 583.921 |
| **укупне обавезе из пословања** | **479.018** | **488.599** | **498.371** | **508.338** | **518.505** | **528.875** | **539.452** | **550.242** | **561.246** | **572.471** | **583.921** |
| **сопствени капитал** | 12.957.866 | 13.791.676 | 14.653.656 | 15.544.598 | 17.075.144 | 18.038.669 | 19.033.906 | 19.414.585 | 19.802.876 | 20.198.934 | 20.602.912 |
| **укупна пасива** | **23.577.823** | **24.670.005** | **25.796.443** | **26.958.070** | **28.765.671** | **30.012.769** | **31.298.245** | **31.975.982** | **32.668.310** | **33.375.540** | **34.097.992** |

**Биланс успеха**

| Година | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| бруто фактурисана премија | 11.975.459 | 12.214.968 | 12.459.268 | 12.708.453 | 12.962.622 | 13.221.875 | 13.486.312 | 13.756.038 | 14.031.159 | 14.311.782 | 14.598.018 |
| премија пренета у реосигурање | (359.264) | (366.449) | (373.778) | (381.254) | (388.879) | (396.656) | (404.589) | (412.681) | (420.935) | (429.353) | (437.941) |
| **нето фактурисана премија** | **11.616.195** | **11.848.519** | **12.085.490** | **12.327.199** | **12.573.743** | **12.825.218** | **13.081.723** | **13.343.357** | **13.610.224** | **13.882.429** | **14.160.077** |
| нето зарађена премија | 11.267.709 | 11.493.064 | 11.722.925 | 11.957.383 | 12.196.531 | 12.440.462 | 12.689.271 | 12.943.056 | 13.201.918 | 13.465.956 | 13.735.275 |
| нето одштетни захтеви | (5.070.469) | (5.194.865) | (5.322.208) | (5.452.567) | (5.586.011) | (5.722.612) | (5.862.443) | (6.005.578) | (6.152.094) | (6.302.067) | (6.455.579) |
| нето оперативни трошкови | (4.281.730) | (4.367.364) | (4.454.711) | (4.543.806) | (4.634.682) | (4.727.375) | (4.821.923) | (4.918.361) | (5.016.729) | (5.117.063) | (5.219.404) |
| **резултат осигурања** | **1.915.511** | **1.930.835** | **1.946.006** | **1.961.011** | **1.975.838** | **1.990.474** | **2.004.905** | **2.019.117** | **2.033.095** | **2.046.825** | **2.060.291** |
| укупни резултат од инвестирања | 218.109 | 234.158 | 245.297 | 256.801 | 271.711 | 287.071 | 299.861 | 309.836 | 316.872 | 324.066 | 331.422 |
| **нето инвестициони резултат** | **218.109** | **234.158** | **245.297** | **256.801** | **271.711** | **287.071** | **299.861** | **309.836** | **316.872** | **324.066** | **331.422** |
| **профит/(губитак) пре пореза** | **2.133.620** | **2.164.993** | **2.191.303** | **2.217.812** | **2.247.549** | **2.277.545** | **2.304.766** | **2.328.953** | **2.349.967** | **2.370.891** | **2.391.713** |
| порез на добит | (320.043) | (324.749) | (328.695) | (332.672) | (337.132) | (341.632) | (345.715) | (349.343) | (352.495) | (355.634) | (358.757) |
| **нето профит** | **1.813.577** | **1.840.244** | **1.862.607** | **1.885.140** | **1.910.417** | **1.935.913** | **1.959.051** | **1.979.610** | **1.997.472** | **2.015.257** | **2.032.956** |

На основу пројектованог биланса стања и биланса успеха компаније А извршена је пројекција слободног новчаног тока.

Актуарске претпоставке коришћене у моделу су:

1. Очекивана стопа раста фактурисане премије је 2% годишње.
2. Стопа самопридржаја је 97%.
3. Пројектовани рацио трошкова 38%.
4. Пројектовани рацио штета је између 45% и 47%.
5. Пројектовано је да ће рацио солвентности до 2029 године достићи ниво од 1,5, што је прихватљив ниво за очување пословања друштва.
6. Стопа пореза на добит у Србији је 15%.
7. Дисконтна стопа је 7,56%.
8. Стопа раста новчаног тока након 2023. године износи 2%.

Збир садашње вредности пројектованих нето новчаних токова у периоду 2023-2033. године ($SV_{11}$) износи:

$$SV_{11}=\frac{1.354.338}{(1+0{,}0756)}+\frac{1.006.433}{(1+0{,}0756)^{2}}+\frac{1.000.628}{(1+0{,}0756)^{3}}+\frac{994.198}{(1+0{,}0756)^{4}}+\frac{379.872}{(1+0{,}0756)^{5}}+\frac{972.387}{(1+0{,}07569)^{6}}+\frac{963.814}{(1+0{,}0756)^{7}}+$$

$$+\frac{1.598.932}{(1+0{,}0756)^{8}}+\frac{1.609.180}{(1+0{,}0756)^{9}}+\frac{1.619.200}{(1+0{,}0756)^{10}}+\frac{1.628.977}{(1+0{,}0756)^{11}}=8.386.130$$

Садашња вредност резидуала ($RV$) износи:

$$RV=\frac{1.442.204}{(0{,}0756-0{,}02)}*\frac{1}{(1+0{,}0756)^{11}}=11.635.717$$

**Табела 4:** Израчуната вредност осигуравајуће компаније А (000 динара)

| | | |
|---|---|---|
| **Дисконтовани новчани ток сопственог капитала** | | |
| $SV_{11}$ | 8.386.130 | *41,9%* |
| *RV* | 11.635.717 | *58,1%* |
| **Вредност компаније** | **20.021.847** | ***100,0%*** |

Израчуната садашња вредност осигуравајуће компаније А износи 20.021.847 хиљада динара.

## 4. ЗАКЉУЧАК

Процена вредности осигуравајуће компаније је веома важна са аспекта сагледавања њеног финансијског положаја и идентификовања ризика пословања са којима она може бити суочена у будућности. Стога је потребно да се историјско искуство прилагоди у складу са могућим променама, како би се обезбедила боља процена неопходних параметара. Коришћењем методе дисконтовања новчаног тока (DNT) за процену вредности изабране осигуравајуће компаније доказано је да се ради о успешној осигуравајућој компанији која има довољно капитала да измирује све своје обавезе. Кључни проблем примене методе DNT је израчунавање дисконтне стопе, која се користи приликом обрачуна вредности осигуравајуће компаније. У раду је обрачуната дисконтна стопа за Србију уз уважавање постојећих детерминанти које је одређују. Правац даљег истраживања могао би бити усмерен на примену техника маћинског учења (*machine learning techniques*) за процену вредности осигуравајућих компанија.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Danhel J., Sosik P. (2003). Acquisition Valuation of P&C Insurance Companies Research team, *University of Economics in Prague*, 580-583.

[2] Kent J., Morgan E. (2016). S2AV: A Valuation Methodology for Insurance Companies under Solvency II, *Milliman Research Report*.

[3] Lintner, J. (1965). The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets. *Review of Economics and Statistics,* 47, 13–37.

[4] Massari; M., Gianfranco G.; Laura, Z. (2014). The Valuation of Financial Companies Tools and Techniques to Measure the Value of Banks, Insurance Companies and Other Financial Institutions, *John Wiley & Sons*.

[5] Michelfelder, R.A. (2015). Empirical analysis of the generalized consumption asset pricing model: Estimating the cost of capital. *J. Econ. Bus. 80*, 37–50.

[6] Sharpe, W.F. (1964). Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. *Journal of Finance,* 19, 425–442.

[7] Treynor J. (1965). How to rate management of investment funds. *Harvard Business Review,* 43, 63–75.

[8] Varmaz A., Poddig T., Viebig J. (2008). Equity Valuation: Models from Leading Investment Banks, *John Wiley & Sons*.

[9] Vayas-Ortega, G.; Soguero-Ruiz, C.; Rojo-Álvarez, J.-L.; Gimeno-Blanes, F.-J. (2020).On the Differential Analysis of Enterprise Valuation Methods as a Guideline for Unlisted Companies Assessment (I): Empowering Discounted Cash Flow Valuation. *10*, 5875.

[10] https://www.belex.rs

[11] https://www.nbs.rs

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# PREMIJA RIZIKA ZA VELIČINU KOMPANIJE KAO ZNAČAJNA KOMPONENTA DISKONTNE STOPE

# SIZE RISK PREMIUM AS SIGNIFICANT DISCOUNT RATE'S COMPONENT

NINA MILENKOVIĆ[1], ANASTASIJA LONČAREVIĆ[2], DEJAN KOKANOVIĆ[3]

[1]KPMG d.o.o. Beograd, nmilenkovic@kpmg.com
[2]KPMG d.o.o. Beograd, aloncarevic@kpmg.com
[3]KPMG d.o.o. Beograd, dkokanovic@kpmg.com

---

***Rezime:*** *Premija rizika vezana za veličinu kompanije važna je komponenta diskontne stope. Empirijski je utvrđeno da je u većini slučajeva povrat na ulaganja u manje kompanije viši nego u velike kompanije, drugim rečima, ulaganja u male kompanije su rizičnija. U radu je prikazan način obračuna i ukazano na značaj ove premije na razvijenim tržištima i dat je predlog za rešenje na malim tržištima na primeru Srbije.*

***Ključne reči:*** *Diskontna stopa, premija rizika za veličinukompanije.*

***Abstract:*** *The risk premium related to the size of the company is an important component of the discount rate. Empirical studies show that in most cases the return on investment in smaller companies is higher than in large companies; in other words, investing in small businesses is riskier. The paper shows the importance and method of calculating this premium in developed markets and gives a possible solution in small markets using the example of Serbia.*

***Keywords:*** *Discount rate, size premium.*

---

## 1. UVOD

Diskontna stopa je ključna karika koja povezuje prinose, tj. novčane tokove koje generiše predmet procene sa njegovom vrednošću. Iako se uobičajeno naziva cenom kapitala, ona je zapravo kombinacija stope prinosa na sopstveni kapital koju zahtevaju investitori i cene duga [1].

Postoji više modela za određivanje diskontne stope: Capital Asset Pricing Model (CAPM), Arbitrage Pricing Model, Metod zidanja (Build-up approach) itd. U praksi, najčešće se koriste CAPM i Metod zidanja. U ovom radu opisan je modifikovani međunarodni CAPM, ali je logika ista i u slučaju primene Metoda zidanja.

Diskontna stopa treba da obuhvati sve prinose i rizike ulaganja u određeni privredni subjekat (u daljem tekstu: kompaniju): od prinosa na nerizična ulaganja, preko opšteg tržišnog rizika ulaganja u akcije, rizika zemlje u kojoj kompanija posluje, rizika svojstvenih delatnosti u kojoj posluje, pa do konkretnih rizika svojstvenih samoj kompaniji.

Tema ovog rada upravo je jedna od komponenti diskontne stope, i to premija vezana za veličinu kompanije.

## 2. DEFINICIJA DISKONTNE STOPE

Prosečna ponderisana cena kapitala uobičajeno se određuje na sledeći način:

$$WACC = r_E\frac{E}{V} + r_D(1-t)\frac{D}{V} \tag{1}$$

gde je:

$r_E$ – cena sopstvenog kapitala, tj. zahtevani prinos na ulaganje u kompaniju,

$r_D$ – cena duga pre poreza,
E – sopstveni kapital,
D – pozajmljeni kapital (dug),
V – investirani kapital (E+D),
E/V – učešće sopstvenog u investiranom kapitalu
D/V – učešće duga u investiranom kapitalu
t – poreska stopa.

Cena sopstvenog kapitala (eng. Cost of Equity), prema modifikovanom međunarodnom CAPM modelu, definisana je na sledeći način:

$$r_E = r_f + \beta \cdot ERP + CRP\ (+\ SRP) \tag{2}$$

gde je:

$r_f$ – stopa prinosa na nerizična ulaganja, tzv. stopa bez rizika (risk-free rate),
β – beta koeficijent, mera sistematskog rizika,
ERP – tržišna premija rizika na sopstveni kapital (akcije), razlika između stope prinosa na tržišni portfolio akcija i stope bez rizika,
CRP – rizik zemlje ulaganja,
SRP – specifična premija rizika.

Značenje pojedinih komponenata i načini njihovog utvrđivanja detaljno su opisani u brojnim radovima, između ostalih u [1], [2] i [3].

Iz WACC se najčešće izvode i specifične stope koje se koriste za utvrđivanje eksternog (ekonomskog) otpisa kod procene vrednosti osnovnih sredstava, testiranje obezvređenja, procenu vrednosti nematerijalnih ulaganja i sl.

## 3. PREMIJA RIZIKA ZA VELIČINU KOMPANIJE

Premija rizika za veličinu kompanije je dodatni povrat koji investitori očekuju da bi preuzeli rizik ulaganja u manje kompanije. Ovaj koncept se zasniva na pretpostavci da manje kompanije nose veći rizik u odnosu na velike, uključujući veću verovatnoću neuspeha, manju likvidnost, veću volatilnost prihoda, veće troškove finansiranja, itd.

Konkretan iznos ove premije može značajno varirati u zavisnosti od mnogih faktora, uključujući vremenski period koji je obuhvaćen, specifične karakteristike kompanije i tržišne uslove.

Brojne studije su ispitivale prinose kapitala u SAD i pokazale da akcije kompanija čija tržišna kapitalizacija je niska (tj. akcije manjih kompanija) imaju tendenciju da zarađuju veće prinose, u proseku, nego akcije kompanija čija je tržišna kapitalizacija velika (tj. akcije „velike kapitalizacije“), što sugeriše da male kompanije imaju veću cenu sopstvenog kapitala. Raspon razlika u velikoj meri zavisi od procedure odabira uzorka, perioda istraživanja i metodologije sortiranja, tako da se ocenjena mesečna razlika u prinosu između akcija male i velike kapitalizacije može kretati od približno 0,4% do skoro 2,5%[4].

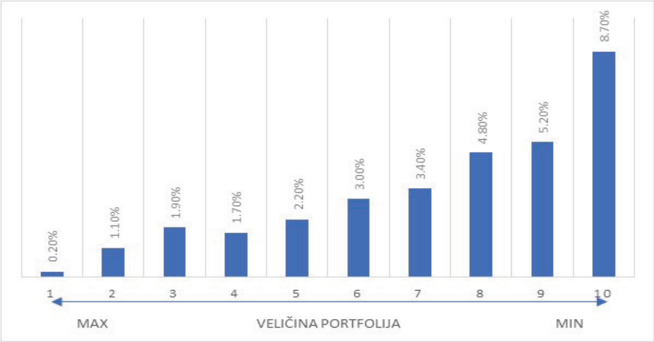
Među prvim autorima koji se ovim studijama bavio i počeo redovno da objavljuje rezultate bio je Roger Grabowski, FASA, koji je i jedan od osnivača dugogodišnje publikacije *Ibbotson SBBI Valuation Yearbook* (između ostalih podataka, ova publikacija objavljivala je podatke o godišnjoj premiji rizika za veličinu za američke kompanije). Objavljivanje je kasnije preuzela firma Duff & Phelps, a od prošle godine Kroll, gde je R. Grabowski direktor [5].

Osim podataka za SAD, postoji i istraživanje vezano za evropske zemlje, koje je uradio prof. Erik Peek sa Rotterdam School of Management, Erasmus University [6]. U istraživanju profesora Peek-a, postojanje efekta veličine ocenjuje se korišćenjem velikog uzorka zapadnoevropskih akcija tokom perioda 1990–2021, vremena u kome su evropske privrede i berze bivale u velikoj meri i sve više integrisane. Kvantifikacija efekta (premije) utvrđuje se u objedinjenom uzorku u kome se sve evropske berze tretiraju kao jedinstveno integrisano tržište, a takođe se analizira i efekat podele uzorka na potencijalno homogenije geografske regione.

Premije rizika za veličinu kompanije (originalno nazvane „premije rizika iznad CAPM“) utvrđene su korišćenjem šest različitih mera veličine kompanije, plus sedma mera veličine koja je kombinacija preostalih šest:

- Tržišna kapitalizacija
- Knjigovodstvena vrednost kapitala
- Tržišna vrednost investiranog kapitala (tržišna kapitalizacija plus kamatonosni dug)
- Ukupna imovina
- Ukupan prihod
- Broj zaposlenih.

Na donjoj slici prikazan je aritmetički prosek svih aritmetičkih proseka „premije rizika“ za svih sedam mera veličine kompanija, objavljen u [4], a preračunat na osnovu podataka iz [6].



*Izvor: [4] na osnovu [6]*

**Slika 1**: Prosečne premije rizika za veličinu kompanije na evropskom tržištu (decembar 2021)

Prikaz sugeriše da se „premija rizika u odnosu na CAPM“ generalno povećava kako se veličina smanjuje (i obrnuto). Takođe sugeriše da je premija za rizik veličine kompanije prisutna u evropskom uzorku, iako se čini da je najviše koncentrisana u najmanjim kompanijama.

## 4. UTVRĐIVANJE PREMIJE RIZIKA ZA VELIČINU ZA TRŽIŠTE SRBIJE

Prilikom procene kompanija sa manjih tržišta, kao što je Srbija i zemlje regiona, uobičajeno je da se koriste premije za veličinu iz publikacija Kroll-a i to je potpuno legitiman postupak, naročito ako je u pitanju svrha procene koja podrazumeva učešće stranih velikih kompanija ili su korisnici procene sa razvijenih tržišta.

Međutim, kada su u pitanju lokalne svrhe procene (na primer, procena upotrebne vrednosti za potrebe testa obezvređenja ili spajanje lokalnih kompanija, dakle sa istog tržišta), sve češće se postavlja pitanje da li korišćenje ovog izvora podataka zapravo dovodi do precenjivanja diskontne stope, a time i do potcenjivanja vrednosti kompanije. Naime, i najveće kompanije na malim tržištima u najboljem slučaju „dobacuju“ do 5. ili 6. decila u odnosu na američke kompanije (primera radi, jedna od naših najvećih kompanija ima knjigovodstvenu vrednost kapitala 4,4 milijarde evra, što spada u 5. decil po Kroll-ovoj skali za 2022. godinu).

### 4.1. Predlog rešenja

Navedeni razlozi doveli su do potrebe za prilagođavanjem skale rizika za veličinu kompanije u skladu sa konkretnim tržištem.

Teorijski gledano, idealno rešenje bi bilo uraditi kompletan obračun na način opisan u [6]: formirati uzorak od svih kompanija listiranih na berzi (još bolje na svim berzama u regionu), formirati decile, obračunati prinose ovih „portfolija“ i formirati sopstvenu skalu.

Međutim, u praksi je ovaj pristup gotovo nemoguće primeniti. Neki od razloga su:

- Teška dostupnost podataka; Beogradska berza (i druge berze u regionu) objavljuju podatke o svakom emitentu, ali je, bar na osnovu javnog pristupa, nemoguće masovno preuzimanje podataka, tj. podaci bi morali da se preuzimaju za svakog emitenta ponaosob, što bi zahtevalo previše vremena.
- Čak i u slučaju raspolaganja podacima, problem je kvalitet podataka. Naime, trgovanje na berzama u regionu je dosta slabo i većina listiranih akcija je nelikvidna, tako da se podaci o tržišnim kapitalizacijama i prinosima akcija ne mogu smatrati adekvatnim za ovu analizu.

Alternativno rešenje je korišćenje knjigovodstvene vrednosti kapitala, gde bi mogli da se koriste podaci o svim kompanijama, a ne samo listiranim na berzi, a takođe bi mogli da se kombinuju sa drugim kriterijumima za veličinu, kao što su ukupna imovina i ukupan prihod. Tada ostaje da se reši problem pristupa podacima (što je rešivo preko platforme Checkpoint ili APR-a, uz posebne aranžmane za pristup sirovim podacima), ali i problem aproksimacije za prinose na akcije. Moguće rešenje bilo bi umesto prinosa na akcije koristiti ROE za svaku kompaniju.

Najjednostavnija, a po mišljenju autora dovoljno dobra aproksimacija bila bi rangiranje kompanija na osnovu dostupnih podataka (knjigovodstvena vrednost kapitala, sa ili bez kombinacije sa prihodom i imovinom), a zatim primena premija za veličinu utvrđenih za američko ili evropsko tržište. Verovatnija opcija je američko, pošto se podaci objavljuju redovno godišnje, dok je studija [6], bar po informacijama dostupnim autorima, urađena jednokratno.

## 4.2. Ilustrativni primer

**Kalkulacija SRP na osnovu prihoda**

| Decili | Najniži prihod u grupi (u HEUR) | Najviši prihod u grupi (u HEUR) | Premija rizika za veličinu |
|---|---|---|---|
| 1 | 8,717 | 26,004,390 | 0.20% |
| 2 | 2,824 | 8,717 | 1.10% |
| 3 | 1,736 | 2,824 | 1.90% |
| 4 | 1,041 | 1,736 | 1.70% |
| 5 | 462 | 1,041 | 2.20% |
| 6 | 214 | 462 | 3.00% |
| 7 | 74 | 214 | 3.40% |
| 8 | 25 | 74 | 4.80% |
| 9 | 7 | 25 | 5.20% |
| 10 | 0.07 | 7 | 8.70% |

*Izvori:*
*Prihod: checkpoint.rs, sektor 3511*
*Premije: Slika 1.*

Iz već opisanih razloga vezanih za dostupnost podataka, nije bilo moguće uraditi kompletnu analizu. Stoga smo, za potrebe ovog rada, ilustrativno sproveli analizu na sektoru proizvodnje električne energije koristeći prihod kao parametar veličine kompanije.

Nakon što su podaci o sektoru proizvodnje električne energije preuzeti sa Checkpoint-a, izuzeli smo kompanije koje su imale prihod 0 RSD, te se uzorak smanjio sa oko 900 kompanija na 254. Pretpostavka kojom smo se vodili je da je kompanija suštinski neaktivna ukoliko je zabeležila prihod od 0 RSD.

U sledećem koraku rangirali smo uzorak na osnovu prihoda po decilima, a zatim je svakom decilu dodeljena odgovarajuća vrednost premije za rizik veličine kompanije na osnovu podataka prikazanih na Slici 1.

Rezultati su prikazani u tabeli sa desne strane.

U konkretnom slučaju, najveća kompanija će imati premiju rizika veličine 0, jer je ubedljivo veća od prve sledeće (čiji je prihod jednak 612 miliona EUR, tj. preko 40 puta je manji), a ostale kompanije u prvom decilu imaće SRP 0,2%. Ilustracije radi, na Kroll skali ova kompanija imala bi SRP oko 1%.

Važno je napomenuti da je ovo samo ilustrativan primer na osnovu podataka o prihodu za samo jedan industrijski sektor. Može se očekivati da će podaci za celu privredu Srbije izgledati dosta drugačije, tj. da će se kompanije koje su sada u 2. i 3. decilu naći ispod 5. decila, a da će većina onih koje su ispod 6. decila biti u najnižoj grupi sa najvećom premijom rizika za veličinu.

## 5. ZAKLJUČAK

Premija rizika za veličinu kompanije predstavlja važnu komponentu diskontne stope i može da ima značajan uticaj na procenjenu vrednost kompanije. U slučajevima kada se procena radi za lokalne svrhe, tj. za potrebe u okviru lokalnog tržišta, korišćenje skale za premiju rizika sa velikih tržišta može da dovede do precenjivanja diskontne stope i potcenjivanja vrednosti kompanije.

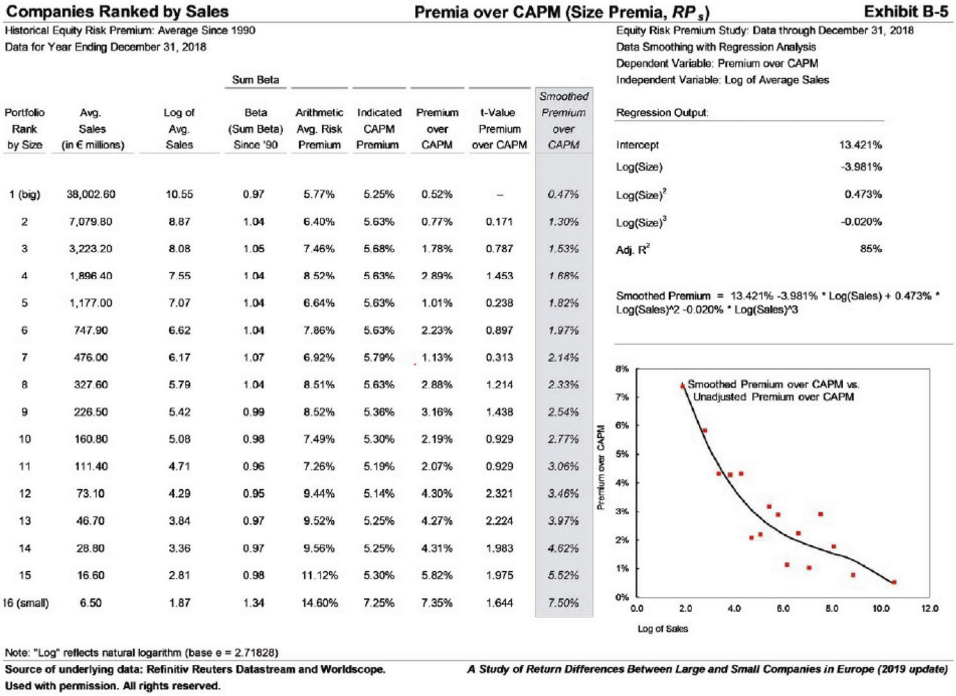
Ideja ovog rada je bila da iznese neke predloge za prilagođavanje skale rizika za manja tržišta kao što je Srbija i da ukaže na probleme u primeni predloženih rešenja.

Po mišljenju autora ovog rada, zbog neprimenljivosti potpune metodologije za obračun lokalnih premija rizika za veličinu, primena premija sa razvijenih tržišta na lokalnu skalu veličina preduzeća je dovoljno dobra aproksimacija.

Naravno, kao i kod izbora metodologije procene i komponenata diskontne stope, uvek treba voditi računa o konzistentnosti sa svrhom procene.

## Prilog

Premije rizika po veličini prihoda, preuzeto iz [6], str. 46



**Companies Ranked by Sales** **Premia over CAPM (Size Premia, *RP*$_s$)** **Exhibit B-5**

Historical Equity Risk Premium: Average Since 1990
Data for Year Ending December 31, 2018

| Portfolio Rank by Size | Avg. Sales (in € millions) | Log of Avg. Sales | Sum Beta<br>Beta (Sum Beta) Since '90 | Arithmetic Avg. Risk Premium | Indicated CAPM Premium | Premium over CAPM | t-Value Premium over CAPM | *Smoothed Premium over CAPM* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 (big) | 38,002.60 | 10.55 | 0.97 | 5.77% | 5.25% | 0.52% | – | *0.47%* |
| 2 | 7,079.80 | 8.87 | 1.04 | 6.40% | 5.63% | 0.77% | 0.171 | *1.30%* |
| 3 | 3,223.20 | 8.08 | 1.05 | 7.46% | 5.68% | 1.78% | 0.787 | *1.53%* |
| 4 | 1,896.40 | 7.55 | 1.04 | 8.52% | 5.63% | 2.89% | 1.453 | *1.68%* |
| 5 | 1,177.00 | 7.07 | 1.04 | 6.64% | 5.63% | 1.01% | 0.238 | *1.82%* |
| 6 | 747.90 | 6.62 | 1.04 | 7.86% | 5.63% | 2.23% | 0.897 | *1.97%* |
| 7 | 476.00 | 6.17 | 1.07 | 6.92% | 5.79% | 1.13% | 0.313 | *2.14%* |
| 8 | 327.60 | 5.79 | 1.04 | 8.51% | 5.63% | 2.88% | 1.214 | *2.33%* |
| 9 | 226.50 | 5.42 | 0.99 | 8.52% | 5.36% | 3.16% | 1.438 | *2.54%* |
| 10 | 160.80 | 5.08 | 0.98 | 7.49% | 5.30% | 2.19% | 0.929 | *2.77%* |
| 11 | 111.40 | 4.71 | 0.96 | 7.26% | 5.19% | 2.07% | 0.929 | *3.06%* |
| 12 | 73.10 | 4.29 | 0.95 | 9.44% | 5.14% | 4.30% | 2.321 | *3.46%* |
| 13 | 46.70 | 3.84 | 0.97 | 9.52% | 5.25% | 4.27% | 2.224 | *3.97%* |
| 14 | 28.80 | 3.36 | 0.97 | 9.56% | 5.25% | 4.31% | 1.983 | *4.62%* |
| 15 | 16.60 | 2.81 | 0.98 | 11.12% | 5.30% | 5.82% | 1.975 | *5.52%* |
| 16 (small) | 6.50 | 1.87 | 1.34 | 14.60% | 7.25% | 7.35% | 1.644 | *7.50%* |

Equity Risk Premium Study: Data through December 31, 2018
Data Smoothing with Regression Analysis
Dependent Variable: Premium over CAPM
Independent Variable: Log of Average Sales

Regression Output:

| | |
|---|---|
| Intercept | 13.421% |
| Log(Size) | -3.981% |
| Log(Size)$^2$ | 0.473% |
| Log(Size)$^3$ | -0.020% |
| Adj. R$^2$ | 85% |

Smoothed Premium = 13.421% -3.981% * Log(Sales) + 0.473% * Log(Sales)^2 -0.020% * Log(Sales)^3

Note: "Log" reflects natural logarithm (base e = 2.71828)

**Source of underlying data: Refinitiv Reuters Datastream and Worldscope. Used with permission. All rights reserved.**

***A Study of Return Differences Between Large and Small Companies in Europe (2019 update)***

## LITERATURA

[1] Fernandez, Pablo, „WACC: Definition, Misconceptions and Errors“ (May 24, 2019). Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=1620871 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1620871

[2] Milenković, Nina, „Finansijski rizici u ceni kapitala“, Zbornik radova SYM-OP-IS 2011, Zlatibor, 4-7. oktobar 2011, str. 18-21

[3] Milenković, Nina, „Common mistakes indiscount rate determination“, European Valuer, Issue N° 25, March 2022

[4] Harrington, James P., Carla S. Nunes, Anas Aboulamer, Roger J. Grabowski, „Valuation Handbook: International Guide to Cost of Capital - 2022 Summary Edition“, CFA Institute Research Foundation. Available athttps://www.cfainstitute.org/-/media/documents/article/industry-research/igcc-summary-edition-2022.pdf

[5] Roger Grabowski | Managing Director, Fellow | Kroll

[6] Peek, Erik, A Study of Differences in Returns between Large and Small Companies in Europe (April 30, 2019). Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=2499205 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2499205

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# PROCENA VREDNOSTI KAPITALA BANAKA: ZNAČAJ, METODOLOGIJA I IZAZOVI

# VALUATION OF BANKS' EQUITY: SIGNIFICANCE, METHODOLOGY AND CHALLENGES

OGNJEN VASILJEVIĆ[1], DEJAN KOKANOVIĆ [2], NINA MILENKOVIĆ [3]

[1] KPMG d.o.o. Beograd, ovasiljevic@kpmg.com
[2] KPMG d.o.o. Beograd, dkokanovic@kpmg.com
[3] KPMG d.o.o. Beograd, nmilenkovic@kpmg.com

---

***Rezime:*** *Procena vrednosti kapitala banaka ima veliki značaj u procesima poput sticanja vlasništva u kapitalu banaka, određivanja emisione cene akcija, određivanja srazmere kapitala odnosno srazmere zamene akcija u procesima statusnih promena, otkupa akcija nesaglasnih akcionara, procene vrednosti učešća u kapitalu drugih banaka, itd. U radu su prikazani najčešće korišćeni pristupi i metodi, kao i izazovi sa kojima se proceniteljski timovi najčešće suočavaju u praksi.*

***Ključne reči:*** *Procena vrednosti kapitala banaka, metod diskontovanih dividendi "dividend discount model – DDM", metod uporedivih transakcija, metod uporedivih banaka.*

***Abstract:*** *The valuation of bank equity is of great importance in processes such as acquiring ownership in bank equity, determining the share price for stock issuance, determining the proportion of capital or share exchange, buying out shares of dissenting shareholders, assessing the value of participation in the equity of other banks, and so on. This paper presents usual approaches and methods for banks' valuation, as well as challenges valuation teams face in practice.*

***Keywords:*** *valuation of bank equity, dividend discount model – DDM, comparable transactions method, comparable banks method.*

---

## 1. ZNAČAJ PROCENE VREDNOSTI KAPITALA BANAKA

Procena vrednosti kapitala banaka ima veliki značaj u procesima poput sticanja vlasništva u kapitalu banaka, određivanja emisione cene akcija, određivanja srazmere kapitala odnosno srazmere zamene akcija u procesima statusnih promena, otkupa akcija nesaglasnih akcionara, procene vrednosti učešća u kapitalu drugih banaka, itd.

S tim u vezi, procena vrednosti kapitala može pružiti preliminarnu procenu vrednosti za menadžment entiteta koji razmatra mogućnost preuzimanja vlasničkog udela u banci, pre nego što se pristupi detaljnijim analizama ("due diligence") i pregovorima sa prodavcima. Takođe, procena kapitala ima važnu ulogu kao osnova za sprovođenje postupka dokapitalizacije u skladu sa relevantnim zakonskim odredbama, uključujući članove 260, 259. i 51. Zakona o privrednim društvima Republike Srbije. Dodatno, ona se koristi u procesu obaveštavanja potencijalnih nesaglasnih akcionara u skladu sa zakonom, te eventualnom otkupu akcija nesaglasnih akcionara. Osim toga, procena kapitala je neophodna za ispunjavanje zahteva Međunarodnih standarda finansijskog izveštavanja (MSFI), posebno kada je potrebno vrednovati učešće u kapitalu drugih banaka prema fer vrednosti.

## 2. METODOLOGIJA PROCENE VREDNOSTI KAPITALA BANAKA

Kapital banaka se procenjuje na osnovu standarda „tržišne vrednosti", koja se, prema Međunarodnim standardima procene[1], definiše kao "procenjeni iznos za koji bi sredstvo ili obaveza mogli da se razmene na dan procene vrednosti, između zainteresovanog kupca i zainteresovanog prodavca, pod objektivnim uslovima, između nezavisnih i nepovezanih strana, posle odgovarajućeg marketinga, pri čemu su obe strane posedovale dovoljno saznanja, te delovale razumno i bez prinude".

Procene kapitala banaka se najčešće zasnivaju na pretpostavci o banci kao entitetu sa neograničenim rokom poslovanja (going-concern). Ova pretpostavka podrazumeva ispunjenost sledećih uslova: (1) uprava banke primenjivaće samo one finansijske i poslovne strategije koje će povećavati vrednost poslovnog subjekta, i (2) ne postoji neizvesnost u vezi budućih događaja (kao što je kontinuirano poslovanje sa gubitkom i finansijskim poteškoćama). Ove okolnosti mogu dovesti u pitanje osnovnu pretpostavku o nastavku aktivnosti banke u neograničenom budućem periodu. Deo ovih uslova obezbeđen je već i samim kontrolama od strane centralnih banaka, u našem slučaju Narodne banke Srbije.

U postupku procene mogu biti primenjena tri tradicionalno prihvaćena pristupa u proceni: prinosni, troškovni i tržišni. Metodi koji se koriste određuju se na bazi profesionalnog suda procenjivača. U nastavku je kratko opisan svaki od metoda.

## 2.1. Prinosni pristup – Metod diskontovanja dividendi (DDM)

U proceni vrednosti kapitala banke osnovni i najprihvaćeniji metod jeste "Dividend Discount Model (DDM)" odnosno model diskontovanja dividendi. DDM metod se zasniva na pretpostavci da vrednost banke predstavlja sadašnju vrednost budućih projektovanih dividendi koje pripadaju vlasnicima banke odnosno njenim akcionarima uz istovremeno održavanje odgovarajućeg (zahtevanog) nivoa kapitalne adekvatnosti banke za regulatorne svrhe. Ovaj pristup zahteva analize: kredita, depozita, kamatnih stopa, investicija u osnovna sredstva, adekvatnosti kapitala banke, rezidualne vrednosti i diskontne stope (uključujući i proračun poslovnog i finansijskog rizika). Projektovane vrednosti očekivanih budućih dividendi se svode na sadašnju vrednost pomoću diskontne stope.

Diskontna stopa predstavlja ukupnu stopu povraćaja koju bi investitor zahtevao prilikom ulaganja u banku, a odražava poslovni i finansijski rizik vlasničkog interesa u banci. Specifičnost bankarskog sektora jeste da diskontna stopa predstavlja cenu sopstvenog kapitala (Cost of Equity, CoE, koji se najčešće utvrđuje modifikovanim CAPM modelom).

Metod diskontovanja dividendi se bazira na sledećem:

- Sadašnja vrednost dividendi u periodu diskretne projekcije, period stabilizacije.
- Rezidualna vrednost.

Dividenda se projektuje za period u kome se očekuje njeno stabilizovanje, a koji je najčešće tri do pet godina. S obzirom na pretpostavku o nastavku rada banke u neograničenom periodu u budućnosti, potrebno je proceniti vrednost dividendi u periodu posle detaljne projekcije, tzv. rezidualnom periodu.

Vrednost dividendi u rezidualnom periodu može se utvrditi primenom P/BV racija, P/E racija kao i primenom tradicionalnog Gordonovog modela (kapitalizacija dividende iz poslednje godine uz pretpostavljeni konstantni rast po dugoročno održivoj stopi).

## 2.2. Tržišni pristup (komparativni pristup)

U okviru tržišnog pristupa uobičajeno se primenjuju dva metoda:

**Metod poređenja sa cenama akcija banaka koje se kotiraju na berzi**, a koje su predmet slobodne trgovine – metod cena akcija uporedivih banaka. Procena vrednosti kapitala, na osnovu poređenja sa bankama čije akcije se kotiraju na berzi, zasniva se na analizi i poređenju multiplikatora vrednosti kapitala. Za primenu ovog metoda, bira se i analizira reprezentativan uzorak banaka čije se akcije kotiraju na berzi. Vrednost kapitala banke utvrđuje se kao proizvod izabranog multiplikatora vrednosti i odgovarajućeg nivoa dobiti i/ili novčanog toka (na primer, dividendi) ili odgovarajuće bilansne veličine (uglavnom knjigovodstvene vrednosti kapitala), pre ili posle oporezivanja. Vrednost dobijena primenom ovog metoda predstavlja vrednost manjinskog paketa utrživih akcija. Da bi se došlo do konačnog zaključka o vrednosti kapitala (ukoliko se procenjuje većinski paket akcija), neophodno je dobijenu vrednost uvećati za iznos premije koja odražava posedovanje kontrolnog paketa akcija. Ukoliko se akcije banke ne kotiraju na likvidnoj berzi, ovako dobijenu vrednost, potrebno je zatim umanjiti za iznos diskonta koji reflektuje ovu činjenicu.

**Metod poređenja sa cenama po kojima su realizovane transakcije** (kupovina većinskog paketa akcija) banaka – metod transakcija. Procena vrednosti kapitala na osnovu poređenja sa bankama koje su nedavno bile predmet kupovine/merdžera bazira se na analizi baze podataka izvršenih transakcija, kako bi se utvrdilo po kojoj ceni i pod kojim uslovima je realizovana akvizicija kontrolnog paketa akcija. Ovako dobijena vrednost predstavlja osnov za poređenje, i nakon odgovarajućih korekcija i usaglašavanja, utvrđivanje vrednosti ukupnog kapitala banke. U zavisnosti od konkretnog predmeta i svrhe procene, razmatra se primena diskonta za manjinsko učešće i/ili diskonta koji reflektuje činjenicu da se akcije banke ne kotiraju na berzi.

## 2.3. Pristup baziran na sredstvima – Metod neto imovine

Prema metodu neto imovine, koji predstavlja troškovni koncept, procenjuju se sve pozicije bilansa stanja u realnom iznosu. Ovo zahteva pojedinačnu procenu pozicija aktive (gotovine i gotovinskih ekvivalenata, hartija od vrednosti, kredita i potraživanja, nematerijalne imovine, nekretnina, postrojenja i opreme, investicionih nekretnina), kao i procenu obaveza. Procenjena vrednost kapitala predstavlja razliku između procenjenih vrednosti ukupne aktive i procenjene vrednosti ukupnih obaveza. Osnovni preduslov za primenu metoda neto imovine jeste ispunjenost pretpostavke o neograničenom poslovanju banke u budućnosti (going-concern).

Ako pretpostavka o neograničenom poslovanju banke u budućnosti nije ispunjena, primenjuje se likvidacioni metod. Slično kao kod metoda NI, pojedinačno se procenjuju sve pozicije aktive i pasive, s tom razlikom što se procenjuje njihova vrednost u likvidaciji (redovnoj ili ubrzanoj), uz respektovanje direktnih i indirektnih troškova likvidacije.

## 2.4. Izbor metoda procene

Izbor metoda uobičajeno je određen najpre svrhom procene, a zatim i raspoloživošću podataka.

Pre odlučivanja o primeni bilo koje od metoda, postoje nekoliko faktora koji se moraju razmotriti. Glavne grupe ovih dodatnih faktora (u opštem slučaju) su:

- Prava, privilegije i uslovi koje prate vlasnički interes koji se procenjuje, nezavisno od pravne forme tog entiteta;
- Karakteristike poslovanja i istorija poslovanja;
- Očekivanja u pogledu razvoja ekonomije i razvoja specifične industrije u kojoj posmatrani subjekt posluje;
- Imovina, kapital i obaveze privrednog subjekta i finansijska stabilnost istog;
- Finansijsko poslovanje entiteta i mogućnost isplate dividendi;
- Postojanje nematerijalnih ulaganja;
- Mogućnost postojanja prava preče kupovine na interesu u kapitalu privrednog subjekta;
- Relativna veličina vlasničkog učešća koji se procenjuje i pitanja kontrole;
- Specifični zahtevi regulatora;
- Tržišne vrednosti akcija kojima se javno trguje i cene postignute u kupovini tržišnih učešća u istoj delatnosti kao privredni subjekt koji se procenjuje.

Imajući u vidu delatnost (bankarski sektor), te svrhu procena, procenjivački tim najčešće se odlučuje za prinosni pristup i tržišni pristup (metod uporedivih banaka i uporedivih transakcija). Ova dva metoda često se koriste kao kontrolno/korektivni, jer je nekad dosta teško pronaći dovoljno uporedive banke. Iako su široko rasprostranjene tehnike korekcije multiplikatora, kada su u pitanju male lokalne banke one mogu da dovedu do značajne distorzije rezultata.

Kada je reč o troškovnom pristupu, on ne uzima u obzir buduće ekonomske koristi koje vlasnik banke može ostvariti u budućnosti, po osnovu upravljanja imovinom i obavljanja regularne bankarske delatnosti. Iz toga razloga, ovaj metod procene se često označava kao statički metod procene i uglavnom je manje zastupljen pri proceni vrednosti kapitala banaka.

## 3. IZAZOVI PRI PROCENI VREDNOSTI KAPITALA BANKE

Pri proceni kapitala banke, proceniteljski timovi se mogu suočiti s nizom izazova. Neki od najčešćih izazova u praksi su sledeći:

- Nedovoljno detaljni i granularni podaci: Dobijanje pravovremenih, tačnih i dovoljno detaljnih podataka o finansijskom stanju banke može biti izazovno. Nedostatak odgovarajućih podataka može otežati procenu vrednosti kapitala banke.
- Projekcije poslovanja: Izrada projekcija poslovanja banke za buduće periode može biti izazovna, jer su one zasnovane na procenama i pretpostavkama. Precenjivanje ili potcenjivanje zarađivačkih sposobnosti banke može dovesti do nepouzdane procene vrednosti kapitala.
- Procena vrednosti problematičnih potraživanja (eng. Non-performing loans), kolaterala i nekretnina koje nisu u funkciji poslovanja banke: imajući u vidu vrlo specifične karakteristike ovih oblika imovine banaka, kao i nedovoljno javno dostupnih podataka koji se odnose na transakcije ovim oblicima imovine, povremeno je potrebno angažovanje specijalizovanih procenitelja.
- Pronalaženje uporedive grupe banaka: Pronalaženje banaka koje pružaju slične usluge, posluju na sličnim tržištima i pod sličnim tržišnim uslovima predstavlja još jedan od izazova. Ova uporediva grupa banaka koristi se za poređenje performansi banke koja se procenjuje i određivanje relevantnih multiplikatora. Već je pomenuto da je to poseban problem kod malih lokalnih banaka.
- Određivanje prinosa u rezidualnom ili terminalnom periodu: Procena prinosa koji banka može generisati u rezidualnom ili terminalnom periodu takođe može biti izazovna. Ova procena zahteva pretpostavke o dugoročnom rastu, tržišnim uslovima, mogućim isplatama dividende, očuvanju racija adekvatnosti kapitala i drugim faktorima koji mogu imati značajan uticaj na vrednost kapitala banke.

Dodatno, proceniteljski timovi takođe moraju uzeti u obzir regulatorne zahteve i njihove potencijalne promene (na primer, usklađivanje sa zakonima EU), promene u ekonomskom okruženju i druge faktore koji mogu uticati na vrednost kapitala banke. Potrebno je pažljivo razmatranje svih relevantnih faktora i korišćenje odgovarajućih metoda i modela kako bi se izvršila što tačnija procena vrednosti kapitala banke.

## 4. UMESTO ZAKLJUČKA

Procena vrednosti kapitala banke je veoma specifičan procenjivački zadatak, za koji nije dovoljno poznavanje teorije i prakse procene vrednosti, nego i sve specifičnosti bankarskog poslovanja i regulative.

U radu su prikazani osnovni pristupi i metodi koji se najčešće koriste u domaćoj praksi, kao i izazovi sa kojima se procenjivači najčešće sreću.

Detaljnije opise konkretnih izazova iz pojedinačnih slučajeva i načina njihovog prevazilaženja autori ostavljaju za neki budući rad.

## LITERATURA

[1] International Valuation Standards, IVSC, izdanje 2022.
[2] Valuing Financial Institutions, KPMG training, 2022.
[3] Damodaran, A. (2012): Investment Valuation, John Wiley & Sons, 802-846

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# КВОЛСЕТОВ ИНДЕКС КАО НОВА МЕРА КОНЦЕНТРАЦИЈЕ: НЕКЕ ЕМПИРИЈСКЕ ПРОВЕРЕ

# KVÅLSETH'S INDEX AS A NEW CONCENTRATION MEASURE: SOME EMPIRICAL TESTS

РАЈКО БУКВИЋ[1]

[1] Нижегородски инжењерско-економски универзитет, Књагињино (Русија), r.bukvic@mail.ru

---

***Резиме:*** *Анализа концентрације, као једног од основних појмова у економској теорији, већ дуги низ деценија привлачи пажњу истраживача и креатора економске политике. У оквиру великог броја приступа и метода за њено мерење издвојила се класа тзв. апсолутних мера, а у њој индекс концентрације Cm (најчешће C4) и Хиршман-Херфиндалов индекс CH. Временом су развијене и друге мере, као што је Розенблатов, а једна од последњих је Кволсетов индекс. У раду се на основу података за банковни сектор Србије (без Косова и Метохије) за период 2016–2021 анализира понашање ових индекса и њихова међусобна корелисаност. Показано је да су три индекса доста чврсто корелисана, док кретање Розенблатовог у значајној мери одступа.*

***Кључне речи:*** *концентрација, показатељи, индекс концентрације, Хиршман-Херфиндалов индекс, Розенблатов индекс, Кволсетов индекс, емпиријске провере.*

***Abstract:*** *Concentration analysis, as one of the basic concepts in economic theory, has been attracting the attention of researchers and economic policy makers for many decades. Within the large number of approaches and methods for its measurement, a class of so-called absolute measures, and in it the concentration index Cm (most often C4) and the Hirschman-Herfindahl index CH. Over time, other measures were developed, such as Rosenbluth's, and one of the last is the Kvålseth index. The paper analyzes the behavior of these indices and their mutual correlation based on data for the banking sector of Serbia (without Kosovo and Metohija) for the period 2016-2021. It is shown that the three indices are quite strongly correlated, while the movement of Rosenbluth's deviates significantly.*

***Keywords:*** *concentration, indicators, concentration index, Hirschman-Herfindahl index, Rosenbluth's index, Kvålseth index, empirical tests.*

---

## 1. УВОД

Концентрација тржишта један је од основних појмова у економској теорији. Уопштено се сматра да већа концентрација доноси пораст моћи појединих (великих) тржишних учесника. У теоријској равни, уз такав ниво концентрације, лидери у привредној грани имају тржишну предност, тј. највећи учесници (један или више њих) имају доминантну тржишну позицију, што им омогућава да одређују цене својих производа изнад граничних трошкова. Низак ниво концентрације, напротив, имплицира недостатак тржишне снаге, он је карактеристичан за пословне субјекте са сличним (мањим) тржишним уделом. То сугерише постојање већег степена конкуренције међу фирмама, сходно једној од основних теоријских претпоставки о инверзном односу између концентрације и конкуренције. Економска теорија, а последично и економска политика, даје предност ниској тржишној концентрацији, тј. конкурентним тржишним структурама, сматрајући да оне побољшавају перформансе и предузећа, и привреде у целини, иако нека емпиријска истраживања указују и на њене негативне ефекте.

Мерење концентрације је, сходно томе, предуслов разумевања и објашњавања одлика тржишних структура, и од стране аналитичара, и креатора политике конкуренције. Анализа концентрације је и основ дијагностиковања стања и структуре сваког сегмента тржишта, а њени резултати имају значајне теоријске и практичне вредности. Све то, наравно, временом је водило до раста тражње за адекватним мерама концентрације, о чему сведочи већи број метода мерења тржишне концентрације, развијен не само у почетном периоду развоја ове дисциплине, већ и током последњих година. У избору метода истраживачи су се руководили разним критеријумима, међу којима и особинама које би по њиховом мишљењу одговарајући метод требало да поседује.

У развоју дисциплине врло рано су се издвојиле две класе индекса за мерење концентрације [Rosenbluth 1955]: према првој концентрација се мери бројем ентитета који остварују одређени проценат мерене карактеристике (производња, промет, запосленост, средства итд.), док друга мери проценат аутпута који остварује одређени број учесника. На кривој концентрације, која је већ у најранијим радовима постала основ и важан извор информација о концентрацији, ове две класе мере удаљеност криве од хоризонталне, односно вертикалне осе и тиме дају различите информације о практично истом феномену. Док су се ове прве мере задржавале на једној тачки на кривој концентрације, што је свакако њихов значајан недостатак, већ на прелазу у шесту деценију конструисани су индекси који узимају у обзир све учеснике на тржишту (тј. у грани), пре свега Херфиндалов индекс, као заправо модификација Хиршмановог. Уз раније настале мере неједнакости (Лоренц, Ђини) тако је већ половином 20. века почело коришћење различитих мера, а њихов број се касније константно повећавао.

Утицајем многих фактора, између осталог и подршком државних органа, ти методи су стекли различиту популарност, а међу њима на водећој позицији нашли су се коефицијент концентрације Cm и Хиршман-Херфиндалов коефицијент CH. Као представник прве наведене класе Cm (најчешће C4) је и поред значајних недостатака врло дуго коришћен, чак и од стране државних органа (први водич за хоризонталне интеграције из 1968. коришћен је у САД до 1982. када је у новом водичу уместо C4 промовисан CH). Оба индекса су опстала као водеће мере концентрације током наредних деценија, иако је врло рано указано да и CH има крупне недостатке, и мада су пронађене и нове мање или више софистициране мере.

## 2. КВОЛСЕТОВ ИНДЕКС

Од наведена два индекса, CH је свакако супериорнији, што не треба посебно доказивати. В. Бакстер је то концизно формулисао 1981. на конференцији на којој је инаугурисан CH, истичући да C4 имплицитно претпоставља да је распоред величина (тј. удела) у оквиру водећих ирелевантан, као и распоред удела од 5. до n-те фирме, а и то и друго је без смисла, према [Calkins 1983: 402]. Важније је, ипак, некритичко прихватање и глорификовање индекса CH, што се донекле може разумети кад је реч о 1950-им, рецимо [Rosenbluth 1955: 60], али не и данас. Показано је, наиме, да на његове вредности значајно утиче број учесника на тржишту као и да је неједнозначно информативан, односно да се иста вредности индекса може добити за врло различите констелације тржишта. Стога је примереније разматрати карактеристике и ових и других мера у односу на услове који се постављају пред добру меру концентрације. Управо то је предмет у чланцима [Kvålseth 2022] [Kvålseth 2015], где се дискутује 19 различитих индекса у односу на пет захтева. Посебан акценат при томе стављен је на пети захтев (value validity), одређен на следећи начин: све потенцијалне вредности мере концентрације дају нумеричке репрезентације величине (обима) карактеристике концентрације које су истините, реалне или валидне у односу на неки прихватљив критеријум. За наш рад важан је резултат да CH не задовољава овај захтев, као што га не задовољава ни највећи број од анализираних мера.

Већина индекса развијених за мерење концентрације има следећи општи облик

$$C = \sum_{i=1}^{m} w_i s_i \ , m \in [1, \dots, n] \tag{1}$$

дакле, реч је о пондерисаној суми тржишних удела ($s_i$), при чему су не само пондери различити ($w_i$), већ се разликује и број учесника који учествују у формирању индекса (m). Од горе размотрених C4 представља непондерисани збир удела прве четири (највеће) фирме, док је CH сума свих удела чији су пондери сами ти удели.

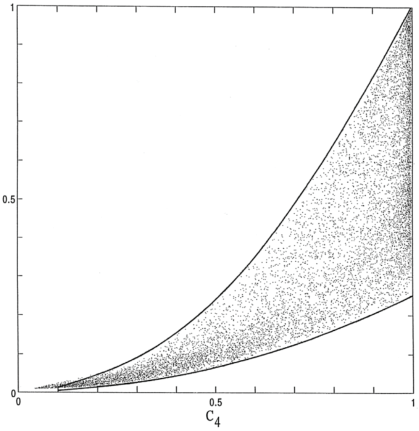
Факти да неки индекси, или чак већина, не задовољавају одређене захтеве довољан су разлог за формулисање нових мера. Као једна од последњих појавио се недавно Кволсетов индекс [Kvålseth 2022], дефинисан на следећи начин:

$$CK = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{i} s_i \tag{2}$$

где су пондери уз тржишне уделе дати као реципрочне вредности рангова фирми уређених у опадајући низ. Лако је проверити да се овај индекс креће у границама од (1/n) Σ (1/i) до 1. О особинама индекса видети [Kvålseth 2022]. У овом раду Кволсет је разматрао и однос новог индекса према другим мерама, конкретно према C4 и CH као најчешће коришћеним. Компјутерском симулацијом генерисано је 1000 дистрибуција тржишних удела, с вредностима n од 5 до 100. На основу тога изведене су и одговарајуће функционалне везе које апроксимирају дате односе.

## 3. ЕМПИРИЈСКЕ АНАЛИЗЕ: КОНЦЕНТРАЦИЈА У БАНКОВНОМ СЕКТОРУ СРБИЈЕ (БЕЗ КОСОВА И МЕТОХИЈЕ) У ПЕРИОДУ 2016–2021

Ми се у овом раду нећемо бавити таквим амбициозним проблемима, који су били предмет интензивних разматрања управо у периоду 1980-их када је уследило поменуто померање од C4 ка CH (додуше, тада само у оквирима ова два индекса), видети [Sleuwaegen et al. 1989], где је показан и закључни, нефункционални однос између ових двају индекса у виду рога, или [Kvålseth 2018], где је тај однос истраживан у контексту теорије мајоризације [Marshall et al. 2010]. Уместо тога, поставили смо знатно скромније циљеве. Наиме, на основу података за банковни сектор Србије (без Косова и Метохије) упоредићемо резултате мерења концентрације наведеним индексима. Њима смо прикључили и Розенблатов индекс, који такође налази примену у одговарајућим истраживањима, иако и не тако често као C4 и CH.



**Слика 1:** Однос индекса C4 и CH [Kvålseth 2018]

Слика 1 показује да је за ниже нивое концентрације распон у вредности C4 и CH узак, а да се значајно повећава с повећањем концентрације. Овај налаз свакако треба имати у виду у одговарајућим емпиријским анализама, као и у евентуалним разматрањима која би утицала на економску политику, конкретно политику конкуренције.

Да подсетимо, Розенблатов индекс одређен је као

$$CR = \left(2\sum_{i=1}^{n} is_i - 1\right)^{-1} \tag{3}$$

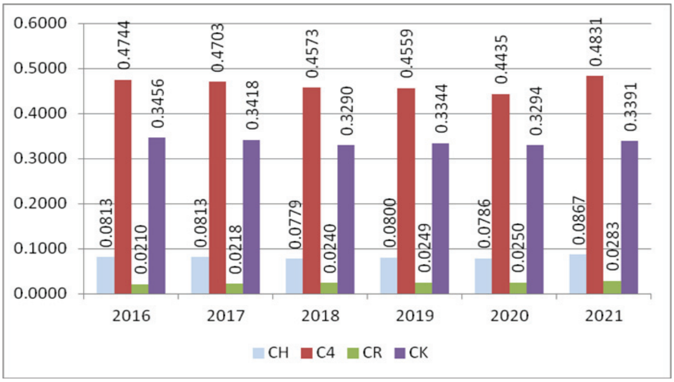
у њему, дакле, улогу пондера имају рангови тржишних учесника, уређених у опадајући низ по вредностима тржишних удела, при чему за разлику од CH већи пондер имају фирме с мањим тржишним уделима, дакле пондерација је инверзна рангу.

**Табела 1:** Коефицијенти концентрације у банковном сектору Србије (без Косова и Метохије) 2016–2021, за одабране билансне промењиве

| **Година** | **Индекс** | **Билансна промењива** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Актива** | **Депозити и обавезе** | **Капитал** | **Пословни приход** | **Кредити и потраживања** |
| 2016. | CH | 0,0813 | 0,0819 | 0,0882 | 0,0764 | 0,0763 |
| | C4 | 0,4744 | 0,4788 | 0,4742 | 0,4463 | 0,4533 |
| | CR | 0,0210 | 0,0209 | 0,0208 | 0,0213 | 0,0212 |
| | CK | 0,3456 | 0,3452 | 0,3620 | 0,3329 | 0,3301 |
| 2017. | CH | 0,0813 | 0,0818 | 0,0847 | 0,0762 | 0,0787 |
| | C4 | 0,4703 | 0,4766 | 0,4688 | 0,4341 | 0,4618 |
| | CR | 0,0218 | 0,0217 | 0,0217 | 0,0222 | 0,0219 |
| | CK | 0,3418 | 0,3417 | 0,3496 | 0,3274 | 0,3335 |
| 2018. | CH | 0,0779 | 0,0786 | 0,0808 | 0,0805 | 0,0771 |
| | C4 | 0,4573 | 0,4594 | 0,4580 | 0,4620 | 0,4514 |
| | CR | 0,0240 | 0,0239 | 0,0238 | 0,0239 | 0,0241 |
| | CK | 0,3290 | 0,3305 | 0,3353 | 0,3405 | 0,3311 |
| 2019. | CH | 0,0800 | 0,0814 | 0,0799 | 0,0791 | 0,0781 |
| | C4 | 0,4559 | 0,4589 | 0,4529 | 0,4474 | 0,4404 |
| | CR | 0,0249 | 0,0248 | 0,0249 | 0,0250 | 0,0251 |
| | CK | 0,3344 | 0,3387 | 0,3259 | 0,3340 | 0,3319 |
| 2020. | CH | 0,0786 | 0,0789 | 0,0808 | 0,0768 | 0,0777 |
| | C4 | 0,4435 | 0,4415 | 0,4597 | 0,4248 | 0,4360 |
| | CR | 0,0250 | 0,0250 | 0,0248 | 0,0251 | 0,0251 |
| | CK | 0,3294 | 0,3292 | 0,3321 | 0,3241 | 0,3303 |
| 2021. | CH | 0,0867 | 0,0866 | 0,0918 | 0,0883 | 0,0896 |
| | C4 | 0,4831 | 0,4782 | 0,5137 | 0,4790 | 0,4935 |
| | CR | 0,0283 | 0,0283 | 0,0280 | 0,0284 | 0,0283 |
| | CK | 0,3391 | 0,3378 | 0,3558 | 0,3544 | 0,3506 |

Концентрација је одређена за банковни сектор Србије (без Косова и Метохије), за период 2016–2021, и то за пет билансних величина (актива, депозити и обавезе, капитал, оперативни приход, кредити и друга потраживања), које смо користили и у ранијим радовима, видети рецимо [Bukvić 2019] [Буквић 2022]. Иако су тамо циљеви и примењени методи били другачији, ипак су израчунати и приказани и ови индекси (C4 и CH). Период анализе опредељен је подацима Народне банке Србије, којима аутор располаже. Добијени резултати приказани су у табели 1. Све вредности дате су као коефицијенти, што иначе није уобичајено (индекс C4 се обично изражава у процентима, дакле у вредностима до 100, а CH до 10000).

Због обиља података табеларни приказ у овом случају није тако прегледан. Из тог разлога резултати су приказани и графички, овом приликом због ограниченог простора само за прву билансну променљиву (слика 2).



**Слика 2:** Показатељи тржишне концентрације банака у Србији* за активу
* Без Косова и Метохије

Као што се може видети у табели, и на приложеној слици 2, три од наведених четири индекса (CH, C4 и CK) карактерише прилично синхроно кретање, што се не може рећи и за четврти (CR). Розенблатов индекс, наиме, показује сталан раст концентрације, за разлику од осталих где таквог тренда нема. Највишу вредност показује корелација између CH и C4, тек нешто вишу него корелација између CH и CK. Овај резултат се, наравно, може тумачити на различите начине, али у сваком случају сугерише потребу даљих емпиријских проверавања.

**Табела 2:** Корелације између коришћених индекса концентрације

| | **C4** | **CR** | **CK** |
|---|---:|---:|---:|
| **CH** | 0,875 | 0,474 | 0,859 |
| **C4** | | 0,049 | 0,808 |
| **CR** | | | 0,049 |

Кратак временски период не дозвољава детаљније испитивање корелационих веза између наведених индекса, због чега смо приступили једном експерименталном поступку, који захтева детаљнију елаборацију и проверу. Од постојећих пет шестогодишњих серија за четири индекса, формирали смо, наиме, једну јединствену серију са 30 податка за сваки од индекса, и на основу ње израчунали међусобне парне индексе корелације. Серија је сада довољно дуга, и у строго статистичком смислу омогућава поуздане резултате. Ти резултати дати су у табели 2. Потврђује се слаба корелација Розенблатовог с осталим индексима, док су ови међусобно повезани доста чврстом корелационом везом (око 0,80 до 0,85). Ове налазе потврђује и линеарна регресија између CK (као зависне) и CH (као независне променљиве)

$$CK = 0{,}181 + 1{,}925CH \tag{4}$$

с коефицијентом детерминације $R^2$=0,738.

У тумачењу добијених резултата треба имати у виду да је генерално посматрано концентрација у банковном сектору Србије (без Косова и Метохије) у наведеном периоду умерена, заправо ниска али близу умереној, тако да се на горњој слици 1 налазимо у југоисточном квадранту, али ипак довољно близу центру слике где су распони између C4 и CH доста уски. Као што се види из табеле 2, CK је слабије корелисан и с једним и с другим од та два индекса, него они међусобно, што би свакако требало да је један од важнијих налаза ~~овог~~ нашег ~~малог~~ истраживања. То би онда, у сваком случају, упућивало на потребу детаљнијих сагледавања предности и недостатака овог индекса, као и његове могуће улоге у политици конкуренције.

## 4. УМЕСТО ЗАКЉУЧКА

Проблеми концентрације на тржишту привлаче несмањену пажњу и истраживача и одговарајућих државних органа већ готово читаво столеће. Број предложених и прихваћених индекса за њено мерење непрестано расте, што потцртава питање њихове заснованости и практичне употребљивости. И за једну од последњих мера, Кволсетов индекс, потребна су даља емпиријска, као и теоријска испитивања. Резултати мањег емпирјског истраживања односа овог индекса с најчешће коришћеним индексом концентрације C4 и Хиршман-Херфиндаловим CH, као и ређе коришћеним Розенблатовим CR, указују на његову високу корелисаност с прва два, као и на ниску корелацију свих трију са CR. Могућности и потреба коришћења Кволсетовог индекса за потребе антимонополске политике захтевају даља истраживања.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Буквић, Рајко М. (2022). Типови промена концентрације у банковном сектору Србије: декомпозиција индекса Хиршмана-Херфиндала. XLIX Simpozijum o operacionim istraživanjima, *SYM-OP-IS 2022*. Ur. Zorica Mladenović, Mladen Stamenković, Beograd: Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, 147–152.

[2] Bukvić, Rajko M. (2019). Evolution and Current Status of the Competitive Environment in Serbian Banking Sector: Concentration Indices Analysis. In: Igor Janev (ed.) *Serbia: Current Political, Economic and Social Issues and Challenges*, New York: Nova Science Publishers, 23–42.

[3] Calkins, Stephen. (1983). The New Merger Guidelines and the Herfindahl-Hirschman Index, *California Law Review*, 71(2), 402–429.

[4] Kvålseth, Tarald O. (2015). Evenness indices once again: critical analysis of properties. *SpringerPlus*, 4(1), 1–12.

[5] Kvålseth, Tarald O. (2018). Relationship between concentration ratio and Herfindahl-Hirschman index: A re-examination based on majorization theory. *Heliyon*, 4(10): e00846, 1–24.

[6] Kvålseth, Tarald O. (2022). Measurement of market (industry) concentration based on value validity. *PLoS ONE*, 17(7): e0264613, 1–24.

[7] Marshall, Albert W.; Ingram Olkin, Barry C. Arnold. (2010). *Inequalities: Theory of Majorization and Its Applications*. 2nd ed., New York: Springer, 2010.

[8] Rosenbluth, Gideon. (1955). Measures of Concentration. In: *Business Concentration and Price Policy*, Princeton: Princeton University Press, 57–99.

[9] Sleuwaegen, Leo E.; Raymond R. De Bondt, Wim V. Dehandschutter. (1989). The Herfindahl Index and Concentration Ratios Revisited. *The Antitrust Bulletin*, 34(3), 625–640.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ФИСКАЛНА КРЕТАЊА У СРБИЈИ ПРЕ И ТОКОМ ФИНАСИЈСКЕ КРИЗЕ ИЗАЗВАНЕ ПАНДЕМИЈОМ КОРОНА ВИРУСОМ

# FISCAL MOVEMENTS IN SERBIA BEFORE AND DURING THE FINANCIAL CRISIS CAUSED BY THE CORONA VIRUS PANDEMIC

СЛАЂАНА РАКОЊАЦ[1], БОЈАН ЊЕГОМИР [2], ЂОЛЕ КОЦКА[3]

[1] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, sladjana.rakonjac95@gmail.com;
[2] Војногеографски институт – „Генерал Стеван Бошковић“, Београд, bnjegomir@gmail.com
[3] Управа за односе с јавношћу МО РС, Београд, djole.kocka@gmail.com

---

**Резиме:** *Након бурних деведесетих година на Балканском полуострву, Србији је требала финансијска стабилизација. Почетак новог века обележио је просперитет праћен значајним осцилацијама, светском економском кризом, али и константним растом јавног дуга и фискалног дефицита. Све је указивало на то да се озбиљне промене морају десити у вођењу фискалне политике. Тако је од 2012. до 2014. године спроведен први програм фискалне консолидације. Жељени резултати нису остварени, те је одмах након првог, спроведен и други програм фискалне консолидације. Ограничењем пензија и плата у јавном сектору, као и другим мерама у оквиру програма, створена је добра основа за даљи привредни раст.*

*Повољни фискални услови и резултати у Србији су трајали све до појаве светске здравствене и економске кризе 2020. године, изазване пандемијом корона вируса. Међутим, брзим одговором Србије на новонасталу ситуацију, спровођењем пакета мера помоћи грађанима и привреди, као и пружањем здравствене заштите и спровођењем мера безбедности, последице избијања пандемије су сведене на минимум. Задужење земље је био један од начина да се економија одржи на задовољавајућем нивоу. Сада, након одређеног периода, можемо закључити да је Србија успела адекватно да се избори са кризом и тиме одржи нормалан ниво животног стандарда грађана, а размере последица ће се тек видети у наредним годинама.*

***Кључне речи:*** *фискална консолидација, фискална кретања, јавни дуг, дефицит, пандемија*

***Abstract:*** *After the turbulent end of the 20th century on the Balkan Peninsula, Serbia needed financial stabilization. Prosperity was felt, followed by significant oscillations, the world economic crisis, but also the constant growth of public debt and the fiscal deficit. Everything indicated that serious changes must take place in the conduct of fiscal policy. Thus, from 2012 to 2014, the first fiscal consolidation program was implemented. The desired results were not achieved, and immediately after the first, a second fiscal consolidation program was implemented. The limitation of pensions and salaries in the public sector, as well as other measures within the program, created a good basis for further economic growth.*

*Favorable fiscal conditions and results in Serbia lasted until the emergence of the global health and economic crisis in 2020, caused by the corona virus pandemic. However, with Serbia's quick response to the new situation, the implementation of a package of measures to help citizens and the economy, as well as the provision of health care and the implementation of security measures, the consequences of the outbreak of the pandemic were reduced to a minimum. One of the ways to maintain the economy at a satisfactory level was to debt state of Serbia. Now, after a certain period, we can conclude that Serbia has managed to deal adequately with the crisis and thus maintain a normal level of the standard of living of the citizens, and the extent of the consequences will only be seen in years to come.*

***Key words:*** *fiscal consolidation, fiscal trends, public debt, deficit, pandemic*

---

# 1. УВОД

Почетак друге деценије 21. века био је у знаку настојања да се изађе из кризе. Фискална политика је тада доживела пад, а први, 2012. године и други програм фискалне консолидације, 2014. године, представљале су тада најбоље решење за повратак и стабилизацију економије Србије.

Након неуспелог првог програма, други програм је имао више успеха у стабилизацији економсије. Уведене су промене у јавним предузећима, ограничен је раст зарада и пензија, повећане су пореске стопе, извршене реформе запослености. Резултати су били повољни за Србију са тенденцијом стабилизације дефицита што би омогућило смањење јавног дуга. Један од циљева је био смањење разлика у примањима у државним преузећима. Може се рећи да је фискална консолидација допринела стабилизацији економског система Србије све до 2020. године када је наступила светска здравствена и економска криза.

Крајем 2019. године, у граду Вухану, у Кини, настала је епидемија вирусом Covid-19 који се убрзо проширио на цео свет. Готово да не постоји земља у којој није било оболелих вирусом, да би се у марту 2020. године и у Србији појавио први заражени пацијент. Светска здравствена криза је изазвала кризу и у свим другим сферама. Привреда је на тренутак стала што је изазвало многе последице у свакодневном животу. Сада, када је критичан период прошао и када је свет на путу опоравка од настале кризе, можемо рећи да је Република Србија у тим тренуцима на најбољи могући начин одговорила на све изазове и препреке који су били постављени пред њом.

У раду су обрађени програми фискалне консолидације и њихов утицај на фискалну политику, али и анализа вођења фискалне политике од појаве корона вируса до данас. Посебан акценат стављамо на пакете помоћи упућене грађанима и привредним субјектима. Циљ рада је да се утврди на који начин је пандемија корона вируса утицала на план фискалне политике и колико је дестабилизовала економију Србије, а затим и да се утврде пројекције и планови фискалне политике за наредни период.

# 2. СПРОВОЂЕЊЕ ПРОГРАМА ФИСКАЛНЕ КОНСОЛИДАЦИЈЕ

Од 2008. године, када је економска криза протутњала светом, Србија се суочила са озбиљном фискалном кризом. Учешће буџетског дефицита у БДП-у износило је приближно 6%, док је количник јавног дуга и БДП-а на био на добром путу да премаши 60%. Законски прописане границе за ове показатење износе 4,5% и 45%. Србија је упала у критичну економску ситуацију са наговештајем за разне поремећаје са далекосежним последицама. С обзиром на општу економску ситуацију, дијагноза стања у привреди је била следећа: успоравање привредног раста са забележеним негативним стопама, невиђене стопе незапослености, огроман дефицит текућих трансакција и инфлација која је била међу вишима у региону и међу највишим у Европи. [2]

У циљу стварања стабилизације фискалне политике, било је потребно утицати на много параметара. Основни циљ који је био постављен пред Србију јесте постизање снажне макроекономске стабилности, а после и обезбеђење њене одрживости. Крајњи циљ је био исти приликом планирања и првог и другог програма фискалне консолидације, али су путеви до остваривања били различити.

Напори за опоравак јавних финансија су скоро анулирани због одсуства реформе јавног сектора и банкарског сектора што је утицало на то да ниво фискалног дефицита остане непромењен. Из наведеног се може закључити да мере штедње које су предузете применом првог програма фискалне консолидације (2012. - 2014. године) нису могле да дају жељене резултате.

Акценат стављамо на други програм фискалне консолидације који је започет одмах након првог. Нови трогодишњи програм фискалне консолидације усвојен је крајем 2014.

године у нади да ће помоћу њега исправити грешке учињене претходном консолидацијом. Смањење плата и пензија крајем 2014. године довеле су до планиране буџетске уштеде.

Од великог значаја било је склапање трогодишњег аранжмана са ММФ-ом који је Србији одобрио *stand-by* аранжман из предосножности у износу од око 1,2 милијарди евра са циљем јачања јавних финансија, спровођења плана структурних реформи и повећања стабилности финансијског сектора. [15]

Фискална консолидација 2014-2017. у основи је имала два циља: први, да се обузда неконтролисани раст јавног дуга и да се на тај начин отклони опасност од избијања фискалне кризе и други, да се успешним спровођењем реформи јавне финансије Србије чврсто поставе на дугорочно одрживу путању. Влада је планирала да се фискални дефицит умањи са 6,6% БДП-а у 2014. на 3,8% БДП-а у 2017., што је требало да стабилизује јавни дуг на око 78% БДП-а на крају периода. Дефицит опште државе у 2017. требало је да износи 1,7% БДП-а, што је за око 750 милиона евра мање него што је било планирано крајем 2014. године. Такође, раст јавног дуга заустављен је већ у 2016. години.[10]

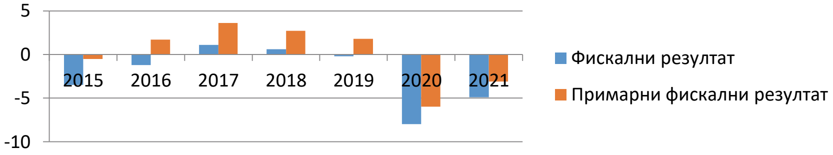
Фискалну консолидацију је спасила неочекивано добра наплата јавних прихода у 2017. години, која је за 1,4 млијарди евра била већа од првобитне пројекције. Најзначајнији допринос у овом добро резултату јавних прихода, јесте ефикасна пореска наплата. На крају, важно је још једном напоменути да су фискалном консолидацијом 2014-2017. успешно решени акутни проблеми јавних финансија Србије – фискална кретања из 2014. године су много повољнија у односу на планиране резултате. Раст јавног дуга је прекинут годину дана пре очекиваног, док је фискални дефицит умањен. Међутим, и поред добрих резултата, Србија је на крају 2017. године, са јавним дугом од око 75.% БДП-а задужена земља, али са добром подлогом за даљи раст и напредак. [10]

## 3. КРЕТАЊЕ ФИСКАЛНЕ ПОЛИТИКЕ НЕПОСРЕДНО ПРЕ И ТОКОМ ЗДРАВСТВЕНЕ КРИЗЕ

У годинама након завршетка спровођења другог програма фискалне консолидације, било је потребно одржати добро стање фискалне политике. Новонасталу кризу, Србија је дочеклаа са релативно стабилним јавним финансијама. У годинама након спроведеног другог програма фискалне консолидације, остварен је благи суфицит у буџету, што је обезбедило снажно смањење дуга државе.

Крајем 2019. године у кинеском граду Вухану појавила се болест узрокована тешким акутним респираторним синдромом Корона вирусом, познатог под скраћеницом Covid-19 (*eng. Corona virus disease 2019*). Привредне гране, економија и друге области које су расле и развијале се, заустављене су 2020. године, када је пандемија корона вируса угасила многе животе пре свега, а онда и разне фабрике, школе, привредна предузећа. Слика из света се пресликала и код нас, па је од марта до маја 2020. године у Србији било на снази ванредно стање. У истом периоду грађанима Србије је било ограничено кретање. Након завршетка ванредног стања, наступиле су бројне мере у разним сферама, од затварања културних центара, ограниченог радног времена, ограниченог рада угоститељских објеката, забране међународног кретања, ношења медицинске заштите.

Услед великих расхода и издатака, а смањених прихода и примања током 2020. године у циљу смањења последица пандемије, мањак у државној каси, како другачије називамо фискални дефицит, је у посматраној години био већи у односу на успостављени тренд фискалне политике након завршетка другог програма фискалне консолидације. Међутим, фискални дефицит је био мањи у односу на пројекције које су установљене након почетка здравствене кризе. Како се у *Предлогу закона о завршном рачуну буџета Републике Србије за 2020. годину* наводи, планирано је да фискални дефицит у 2020. години износи 483.056,7 милијарди динара, а остварен у износу од 458.254,7 милијарди динара. [11]



**Слика 1:** Фискални резултат опште државе у периоду од 2015. до 2021. године [6]

Након успешно спроведеног другог програма фискалне консолидације, јавни дуг се до појаве пандемије смањивао, а његова стуктура је била из године у годину све повољнија. Србија се и даље задуживала у сличном обиму, али су средства била намењена профитабилним инвестицијама. Позитивни фисклани резултати су се низали све до појаве светске здравствене и економске кризе 2020. године. Успешно вођена фискална политика у годинама пре појаве пандемије довеле су до тога да Србија има позитиван одговор у првим таласима пандемије, али то није било довољно да се држава самостално избори са свим трошковима пред којима се нашла. Година је завршена са већим јавним дугом у односу на претходне године.

## 4. ПАКЕТИ ПОМОЋИ ПРИВРЕДИ И СТАНОВНИШТВУ

Појава пандемије у свету је изазвала општу светњу на више нивоа. Економска активност и трговина су биле успорене, те се није могао очекивати прилив новца, док су трошкови здравства и други расходи у вези са пандемијом нагло расли. Као једино решење се наметнуло задужење земље, како би могли да се исфинансирају растући трошкови који су се огледали у здравственим и заштитним трошковима, али и пакетима неопходне помоћи привредницима и држављанима Србије.

У вићини земаља у Европи и свету, укључујући и Србију, уведене су фискалне и монетарне мере за спречавање негативних економских ефеката изазваних пандемијом. Пакет подразумева девет мера државе за смањивање последица и подршку привреди Србије. Помоћ је навише била усмерена на становништво и привредне субјекте.

Од поменутих девет мера, три се односе на пореску политику, по две на директну помоћ приватном сектору и мере за очување ликвидности привреде. Такође, једна од мера је и мораторијум дивиденди до краја године и директна финансијска исплата које се огледа у новчаној помоћи пунолетним грађанима.

Неке од поменутих мера су се односиле на мере пореске политике, мере директних подстицаја (давања) из буџета и мере за очување ликвидности. Србија је комбиновала групе мера и спровела их кроз три пакета подршке привреди. Међутим, постојили су одређени услови који су се морали испунити. Привредни субјекти нису смели отпустити 10% радне снаге. У наведени проценат се не рачунају уговори на одређено време који су истицали у периоду ванредног стања. Такође, не рачунају се ни они који су пре 15. марта 2022. године привремено прекинули пословање. [12]

Може се рећи да су највећа средства одвојена за први пакет мера. Одложена су плаћања аконтација пореза на добит у другом тромесечју, затим, одложена су и плаћања доспелих пореских обавеза уз могућност касније отплате на рате. Циљ наведене мере је било обезбеђење ликвидности, одржање привердне активности и запослености, затим повећање ликвидности у привредном сектору који исплаћују зараде запосленима. Такође, предузетници самосталних делатности су такође имали одложено плаћање пореза на приход. Без обзира на снагу и статус пословдавца, услови који су били постављени су подједнако важили за све привредне субјекте. [12]

Иако је Србија каснила неколико недеља са спровођењем мера помоћи привреди и грађанима у односу на друге европске земље, већина пактеа је спроведено у складу са препорукама важних економских институција као што је Међународни монетарни фонд. За обезбеђење наведених пакета мера, Србија је излаз нашла у снажном задуживању у веома кратком року, а у годинама после завршетка кризе, дуг ће се уз камату постепено враћати. Процењено је да је за пакете мера спроведених у 2020. години издвојено око 12,8% БДП-а. [14].

## 5. ЗАКЉУЧАК

Многе земље су излаз из кризе нашле у спровођењу програма фискалне консолидације, међутим, није код свих био успешан исход. У Србији је тек другим програмом створена добра база за економски напредак земље и даљи одрживи развој, али се показало и да је створена добра подлога за адекватан економски одговор земље у случају ванредних околности.

Захваљујући мерама фискалне консолидације, у периоду од 2014. до 2019. године, елиминисан је фискални дефицит и остварен суфицит. У периоду од 2017. до 2020. године, остварен је позитиван БДП, са могућношћу бржег раста, смањено учешће јавног дуга у БДП-у, убрзане јавне и приватне инвестиције и побољшани су индикатори тржишта рада. Међутим, пандемија вируса је 2020. године је нагло успорила развој привреде и економску активност и изазвала нагли раст трошкова.

Спроведени пакети економских мера који су реализовани током 2020. и 2021. године допринели су повећању ликвидности предузећа, а тиме и лакшој стабилизацији. Највећи значај пакета помоћи су осетиле делатности у областима која су највише погођена пандемијом. Паралелно са привредом, и становништво је у неколико етапа добило директну финансијску помоћ од државе, чиме је подстакнута домаћа тражња. На тај начин је извршен индиректан утицај на економску активност. Међутим и поред додатниих задужења, фискална кретања и изгледи су повољнији од оних који су најпре пројектовани Фискалном стратегијом.

Такође, одговорним вођењем економске политике у претходном периоду, Народна банка Србије је била у могућности да да јаку подршку привреди и становништву и тиме обезбеди капацитете да се монетарна политка и јавне финансије изборе за актуелним трошковима. Подстицајним вођењем монетарне политике, очувањем ценовне и финансијске стабилности у периодима кризе, обезбеђењем релативне стабилности девизног курса и усидреним инфлационим кретањима, допринело се лакшем превазилажењу актуелне кризе и стварању добре основе за даљу одрживост у фискланој политици. А економске последице ће се осећати и у наредним годинама када ће дуг бити на реду за враћање.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Влада Републике Србије Програм економских реформи за период од 2018. до 2020. године, Влада Републике Србије

[2] Дамњановић Ј., „*Школа бизниса*“, број 3-4, 2013. година, Висока пословна школа струкивних студија Нови Сад

[3] Закон о јавном дугу, „*Службени гласник РС*“, бр. 61/2005, 107/2009, 78/2011, 68/2015, 95/2018, 91/2019 и 149/2020

[4] Министарство финансија Владе Републике Србије, *Билтен јавних финансија*, Београд

[5] Министарство финансија Владе Републике Србије, Фисикална стратегија за 2018. годину са пројекцијама за 2019. и 2020. годину, Београд

[6] Министарство финансија Владе Републике Србије, Фисикална стратегија за 2022. годину са пројекцијама за 2023. и 2024. годину, Београд

[7] Molnár, M. (2012) Fiscal consolidation: „What factors determine the success of consolidation efforts?“ *OECD Journal: Economic Studies*, pp. 123-149

[8] Народна банка Србије, *Макроекономска кретања у Србији*, јул 2018, Београд

[9] Парламентарна буџетска канцеларија, „*Анализа јавног дуга, јануар-март 2020. године*“, мај 2020. године

[10] Петровић П., Брчевић Д., Минић С., „*Фискална консолидација и привредни раст 2015-2017: план, остварења и покретачи*“, март 2017. година, Фискални савет Републике Србије, Београд

[11] Предлог закона о завршном рачуну буџета Републике Србије за 2020. годину, стр. 71

[12] Програм економских мера за смањивање негативних ефеката проузрокованих пандемијом вируса Ковид-19 и подршку привреди Србије, Народна банка Србије

[13] Радичић. М, Раичевић Б., „*Јавне финансије, терија и пракса*“, 2011. година, Data status, Београд

[14] „Ревидирана фискална стратегија за 2022. годину са пројекцијама за 2023. и 2024. годину“, Влада Републике Србије

[15] Сектор за регионални развој и стратешке анализе привреде, „*Актуелна привредна кретања*“, фебруар 2015. године, Министарство привреде, Београд

[16] Управа за јавни дуг, „*Месечни извештај – Анализа јавног дуга и дуга опште државе*“, број 66, септембар 2017, Министарство финансија, Београд

[17] Фискални савет (2015), „Фискална консолидација 2012-2014. и 2015-2017: Овог пута другачије?“, Београд, Република Србија

# HEURISTIKE

# HEURISTICS

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# МЕТОДА ПРОМЕНЉИВИХ ОКОЛИНА ЗА РЕШАВАЊЕ ПРОБЛЕМА P-ЦЕНТРА СА ПОУЗДАНОМ МРЕЖОМ

# VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR THE RELIABLE P-CENTER FACILITY LOCATION PROBLEM

ЈОВАНА РАЂЕНОВИЋ[1], СТЕФАН МИШКОВИЋ [2], ОЛИВЕРА СТАНЧИЋ [3]

[1] Рударско-геолошки факултет, Ђушина 7, Београд, Србија, jovana.radjenovic@rgf.bg.ac.rs
[2] Математички факултет, Студентски трг 16, Београд, Србија, stefan.miskovic@matf.bg.ac.rs
[3] Економски факултет, Лицеја Кнежевине Србије 3, Крагујевац, Србија, olivera.stancic@kg.ac.rs

---

***Резиме:*** *У овом раду је разматран проблем p-центра са поузданом мрежом (енгл. Reliable p-center facility location problem – RpCFLP). Решавање проблема подразумева иницијално успостављање p ресурса и алокације корисника, као и накнадну реалокацију корисника у складу са новонасталим сценаријима који садрже информације о онеспособљеним ресурсима и осталим измењеним улазним подацима. За решавање посматраног проблема предложена је метахеуристика заснована на итеративној варијанти основне методе променљивих околина (енгл. Iterated basic variable neighborhood search – IBVNS). Резултати тестирања предложене метахеуристике указују на њену ефикасност у погледу квалитета решења и брзине извршавања у односу на постојеће резултате из литературе.*

***Кључне речи:*** *Проблем p-центра, Робусна оптимизација, Метода променљивих околина*

***Abstract:*** *In this paper, the problem of the reliable p-center facility location problem (RpCFLP) is considered. Solving the problem involves initially establishing p resources and allocating users, as well as subsequent user reallocation according to emerging scenarios that include information about disabled resources and other modified input data. To solve the observed problem, a metaheuristic based on the Iterated Basic Variable Neighborhood Search (IBVNS) is proposed. The test results of the proposed metaheuristic indicate its efficiency in terms of solution quality and execution speed compared to existing results in the literature.*

***Keywords:*** *p-center problem, Robust optimization, Variable neighborhood search*

---

## 1. УВОД

Проблеми $p$ центра представљају класу локацијских проблема чији је циљ успостављање тачно $p$ ресурса и алоцирање корисника успостављеним ресурсима, тако да се минимизује максимално корисник-ресурс растојање. У пракси, ови проблеми налазе примену у ситуацијама у којима се сваки корисник сматра подједнако битним, као што је случај при лоцирању ресурса хитних служби (болница, полицијских станица, ватрогасних станица...). Одабир локација за успостављање ресурса представља дугорочну стратегијску одлуку. Може се десити да неки од ресурса који су успостављени, у случају природних катастрофа, протеста, терористичких напада и сличних ванредних ситуација, буду онеспособљени за употребу. Замена или оправка ових ресурса би изискивала велика новчана средства и пуно утрошеног времена. Стога би у фази моделирања и решавања многих локацијских проблема било пожељно узети у обзир овакве ситуације и направити поуздану мрежу ресурса и корисника. Односно, успоставити ресурсе и повезати их са корисницима, тако да и уз измене (онеспособљавање ресурса, промена у растојањима или захтевима корисника, као и другим улазним подацима), мрежа остане ефикасна.

У овом раду је разматран проблем $p$ -центра са поузданом мрежом (енгл. *Reliable p-center facility location problem – RpCFLP*). Решавање проблема подразумева иницијално успостављање $p$ ресурса и алокацију корисника, као и накнадну реалокацију корисника у складу са новонасталим сценаријима који садрже информације о онеспособљеним ресурсима и осталим измењеним улазним подацима.

Имајући у виду сложеност разматраног проблема и резултате добијене егзактним решавачем CPLEX 20.1.0 на инстанцама различитих димензија, може се закључити да егзактне методе не дају решења за инстанце проблема већих димензија (инстанце са 100 и више корисника и произвољним бројем сценарија, као и инстанце са више од 30 корисника које укључују преко 100 сценарија) услед меморијског или временског ограничења. Из тог разлога, предложена је метахеуристика за његово решавање, заснована на итеративној варијанти основне методе променљивих околина (енгл. *Iterated basic variable neighborhood search – IBVNS*), која у кратком времену извршавања обезбеђује квалитетна решења проблема. У оквиру овог рада приказани су упоредни резултати три егзактне методе из литературе, CPLEX решавача и IBVNS имплементације, за инстанце које садрже до 30 корисника и до 200 сценарија.

## 2. МАТЕМАТИЧКА ФОРМУЛАЦИЈА

У овом раду представљена је математичка формулација RpCFLP, предложена у [4], која користи следеће параметре:

- $I$ – скуп корисника;
- J – скуп потенцијалних локација ресурса;
- $K$ – скуп сценарија;
- $p$ – број ресурса које треба успоставити;
- $c_{ij}$ – растојање од корисника $i \in I$ до ресурса $j \in J$ , пре поремећаја;
- $d_i$ – захтеви/потражња корисника $i \in I$ , пре поремећаја;
- $c_{ij}^{z}(k)$ – растојање од корисника $i \in I$ до ресурса $j \in J$ , у сценарију $k \in K$ ;
- $d_i^{z}(k)$ – захтеви/потражња корисника $i \in I$ , у сценарију $k \in K$ ;

$a_j(k)$ – доступност потенцијалне локације ресурса $j \in J$ у сценарију $k \in K$ , tj. $a_j(k) = 1,$ ако је локација $j \in J$ недоступна у сценарију $k \in K$ , а $a_j(k) = 0$ иначе. Претпоставка је да важи $\sum_{j \in J} a_j(k) < p$; као и следеће скупове променљивих:

- Бинарна променљива $y_j$ добија вредност 1 уколико је ресурс $j$ успостављен, а 0 иначе;
- Бинарна променљива $x_{ij}$ добија вредност 1 уколико је корисник $i$ додељен ресурсу $j$ (пре поремећаја), а 0 иначе;
- Бинарна променљива $w_{ijk}$ узима вредност 1 уколико је корисник $i$ додељен ресурсу $j$ у сценарију $k$ , а 0 иначе.

Променљива $x_{ij}$ односи се на алокацију корисника у периоду у ком још није дошло до онеспособљења одређених ресурса, док се променљива $w_{ijk}$ односи на реалокације у оквиру сценарија поремећаја. Користећи претходну нотацију, RpCFLP се може формулисати као у [4], на следећи начин:

$$\min_{x,y} \alpha_1 L_1 + \alpha_2 Q(y) \tag{1}$$

при условима:

$$L_1 \geq \sum c_{ij} d_i x_{ij} \qquad \forall i \in I. \tag{2}$$

$$\sum y_j = p, \tag{3}$$

$$x_{ij} \leq y_j \qquad \forall i \in I, j \in J. \tag{4}$$

$$\sum x_{ij} = 1 \qquad \forall i \in I. \tag{5}$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, j \in J. \tag{6}$$

где је $Q(y)$ дефинисано кроз други степен модела:

$$Q(y) = \max_{k \in K} \min_{w_k} L_2(k) \tag{7}$$

при условима:

$$L_2(k) \geq \sum c_{ij}^2(k) d_i^2(k) w_{ijk} \qquad \forall i \in I \tag{8}$$

$$w_{ijk} \leq y_j \qquad \forall i \in I, j \in J. \tag{9}$$

$$w_{ijk} \leq 1 - a_j(k) \qquad \forall i \in I, j \in J. \tag{10}$$

$$\sum w_{ijk} = 1 \qquad \forall i \in I. \tag{11}$$

$$w_{ijk} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{12}$$

Функција циља (1) дефинисана је као тежинска сума максималног растојања између корисника и ресурса у првом степену модела (период пре поремећаја) означеног са $L_1$ и највећег од максималних растојања из свих сценарија другог степена модела (након што дође до онеспособљења неког ресурса) означеног са $Q(y)$, коју треба минимизовати. Постављање вредности за $L_1$ на максимално корисник-ресурс растојање у периоду пре поремећаја постиже се условом (2). Услов (3) указује да је успостављено тачно $p$ ресурса. Претпоставка је да важи $p \leq |J|$. Услови (4) и (5) обезбеђују да, у периоду пре поремећаја, корисници буду алоцирани само успостављеним ресурсима, као и да сваки корисник буде услужен од стране тачно једног ресурса, респективно. Типови променљивих $x_{ij}$ и $y_j$ су дефинисани условом (6). У другом степену модела, кроз услов (8) вредност за $L_2(k)$ поставља се на максимално растојање између успостављених ресурса и њима алоцираних корисника у $k$ -том сценарију. Условима (9) и (10) обезбеђује се да корисници буду алоцирани само успостављеним ресурсима који су доступни у $k$ -том сценарију. Услов (11) гарантује да ће сваки корисник, у $k$ -том сценарију, бити услужен од стране тачно једног ресурса. Ограничење (12) указује на бинарну природу променљиве $w_{ijk}$ .

Приказана формулација RpCFLP се, по узору на поступак из [2], може трансформисати у тзв. једностепени модел на следећи начин:

$$\min_{x,y,w_k} \alpha_1 L_1 + \alpha_2 L_{\max} \tag{13}$$

при условима: (2) – (6), (8) – (12) и $L_{max} \geq L_2(k), \qquad \forall k \in K$ .

## 3. МЕТОДА ПРОМЕНЉИВИХ ОКОЛИНА ЗА RPCFLP

Метода променљивих околина (енгл. *Variable Neighborhood Search – VNS*) је метахеуристика коју су 1997. године предложили Младеновић и Хансен у [6], за решавање проблема трговачког путника. Заснована је на идеји систематских промена околина током локалног претраживања и следеће три чињенице: локални минимум у односу на једну околину не мора бити и локални минимум у односу на неку другу околину, глобални минимум је локални минимум у односу на све околине и за већину проблема, локални минимуми у односу на различите околине су међусобно блиски. У зависности од тога да ли се наведене три чињенице користе детерминистички, стохастички или комбиновано, у литератури су предложене различите варијанте методе променљивих околина (видети [5]).

У овом раду је предложена итеративна варијанта основне методе променљивих околина (енг. *Iterated Basic Variable Neighborhood Search – IBVNS*) за решавање RpCFLP. Решење проблема се састоји од бинарног низа $x$ (који садржи информације о успостављеним ресурсима) дужине $|I|$ и целобројног низа *allocations*, дужине $|I|(|K|+1)$. Уколико $l$ -ти члан низа $x$ има вредност 1, то значи да је $l$ -ти ресурс успостављен. Очигледно, неопходно је да $x$ има тачно $p$ јединица. Низ *allocations* представља низ алокација. Првих $|I|$ чланова низа се односи на алокације пре поремећаја, док се преосталих $|I||K|$ чланова односе на алокације уз сценарије поремећаја. Целобројна вредност на $l$ -тој позицији овог низа, где је $l \leq |I|$, представља индекс ресурса којем је $l$ -ти корисник алоциран, у периоду пре поремећаја, док вредност на $(l+|I|k)$-тој позицији овог низа, $k \in |K|$, представља индекс ресурса којем је алоциран $l$ -ти корисник, у $k$ -том сценарију. У даљем тексту ће се под решењем проблема подразумевати низ $x$ , док ће уређени пар $(x, allocations$ ) чинити *комплетно решење*.

Функција циља за решење $x$ има вредност $\alpha_1 max_0 + \alpha_2 max_{S_c}$, $max_0 = \max_{i \in I} \min_{j \in J} \{c_{ij} d_i | x(j) = 1\}$, $max_{S_c} = max\{max_1, \dots max_{|K|}\}$ и $max_k = \max_{i \in I} \min_{j \in J} \{c_{ij}^{z}(k) d_i^{z}(k) | a_j(k) = 0, x(j) = 1\}$. Уколико би се на овај начин рачунале вредности функције циља за свако потенцијално решење проблема, дошло би до понављања великог броја израчунавања. Да би се избегла непотребна понављања и уштедело време извршавања алгоритма, предложена је модификација алгоритма која користи структуру *saved.* Иницијално, цела структура *saved* је празна. У току решавања проблема, структура се допуњује подацима добијеним за свако ново решење и притом, подаци у структури се не бришу, већ се ажурирају. Прецизније, у оквиру структуре *saved* се за сваког корисника чува вредност растојања до њему најближе успостављеног ресурса у оквиру тренутно разматраног решења и бележи максимална вредност датих растојања, како за период пре поремећаја, тако и за сваки сценарио. Приликом преласка у ново решење одређени број ресурса се ослобађа, али и исто толико нових се успоставља. Уместо да се функција циља рачуна изнова, разматра се најпре да ли новоуспостављени ресурси и ресурси који су ослобођени мењају вредности у структури *saved.* Уколико то јесте случај, одговарајуће вредности се ажурирају и максимуми који фигуришу у функцији циља могу се добити директно из структуре *saved.*

Предложена IBVNS метода започиње претрагу од почетног решења $x_0$ које се добија тако што се сваки бит поставља на 0 или 1, при чему вероватноћа да бит узме вредност 1 износи 0.25 (ова вредност је одређена прелиминарним тестирањем). Притом се води рачуна да решење садржи тачно $p$ јединица. Уколико садржи мање, решење се по истом принципу допуњује. За тако добијено почетно решење се рачуна вредност функције циља и истовремено се иницијализује структура *saved.* На почетно решење $x_0$ примењује се BVNS, чиме се добија ново решење $x$ и врши се ажурирање структуре *saved.* Након тога, над решењем $x$ се итеративно примењују размрдавање, *nbShake* пута, и BVNS. Минимуми и максимуми у оквиру структуре *saved* прате тренутно разматрано решење. Међутим, уколико се у току једне итерације алгоритма не добије решење са мањом вредношћу функције циља у односу на решење од ког је итерација започела, наредна итерација почиње од решења од ког је започела претходна. Из тог разлога, пре уласка у прву итерацију, потребно је сачувати минимуме и максимуме из *saved* у $minsMaxes_{best}$, како би се на крају итерације поништиле начињене измене, уколико је то потребно. Такође се на крају сваке итерације ажурира $minsMaxes_{best}$ уколико је нађено боље решење. Фаза размрдавања подразумева замену тренутног решења са произвољно одабраним решењем из неке од околина. Околина $U_k(x), 1 \le k \le k_{\max}$, представља скуп решења која се добијају од решења $x$, ослобађањем $k$ ресурса и успостављањем $k$ нових. У случају размрдавања које се одвија ван BVNS-а, решење се увек бира из околине $U_{k_I}(x)$, где $k_I$ представља један од параметара алгоритма. Локална претрага у оквиру BVNS-а функционише по принципу *l*-тог побољшања. Прецизније, у једној итерацији локалне претраге врши се произвољан одабир *l* решења из околине $U_1(x)$, решења *x*. Уколико је пронађено боље решење, *x* се ажурира. Критеријум заустављања за локалну претрагу представља одсуство бољег решења. Односно, уколико одабиром *l* решења из $U_1(x)$ није добијено квалитетније решење од *x*, локална претрага се прекида. У супротном се врши одабир нових *l* решења у околини новог најбољег решења. Као критеријум заустављања IBVNS-а узето је максимално време извршавања алгоритма.

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

IBVNS метахеуристика за решавање RpCFLP имплементирана је у програмском језику C++. Сва тестирања су извршена под Ubuntu 21.10 оперативним системом, у оквиру Dual Boot система, на рачунару са процесором Ryzen 5 3550H од 2.10 GHz и 8 GB RAM меморије. Експериментални резултати су добијени на инстанцама генерисаним на основу података добијених из [4]. Разматране су инстанце величина $|I| = |J| = \{10, 20, 30\}$ и $|K| = \{5, 10, 20, 50, 100, 150, 200\}$. За све инстанце, вредности IBVNS параметара су $k_{max} = 3$, $nbShake = 5$, $k_I = 3$, $l = 5$, док је максималан број итерација у оквиру BVNS методе постављен на 1000. Вредности свих параметара добијене су експерименталним путем.

**Табела 1**: Резултати тестирања IBVNS методе и поређење са резултатима из литературе

| | | IBVNS | | CPLEX | | | CC&G | | | BD | | | LIP | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| \|*I*\| | \|*K*\| | *t*(*s*) | *opt*(%) | *t*(*s*) | *opt*(%) | *gap*(%) | *t*(*s*) | *opt*(%) | *gap*(%) | *t*(*s*) | *opt*(%) | *gap*(%) | *t*(*s*) | *opt*(%) | *gap*(%) |
| 10 | 5 | 0.00 | 100.00 | 0.10 | 100.00 | | 0.05 | 100.00 | | 0.06 | 100.00 | | 0.03 | 100.00 | |
| | 10 | 0.01 | 100.00 | 0.14 | 100.00 | | 0.09 | 100.00 | | 0.09 | 100.00 | | 0.08 | 100.00 | |
| | 20 | 0.03 | 100.00 | 0.32 | 100.00 | | 0.23 | 100.00 | | 0.18 | 100.00 | | 0.29 | 100.00 | |
| | 50 | 0.04 | 100.00 | 0.90 | 100.00 | | 0.66 | 100.00 | | 0.39 | 100.00 | | 1.83 | 100.00 | |
| | 100 | 0.07 | 100.00 | 2.29 | 100.00 | | 1.29 | 100.00 | | 0.77 | 100.00 | | 3.22 | 100.00 | |
| | 150 | 0.07 | 100.00 | 3.26 | 100.00 | | 2.18 | 100.00 | | 1.45 | 100.00 | | 6.27 | 100.00 | |
| | 200 | 0.10 | 100.00 | 6.35 | 100.00 | | 2.96 | 100.00 | | 1.88 | 100.00 | | 9.77 | 100.00 | |
| 20 | 5 | 0.03 | 100.00 | 0.51 | 100.00 | | 0.36 | 100.00 | | 0.57 | 100.00 | | 0.21 | 100.00 | |
| | 10 | 0.09 | 100.00 | 1.36 | 100.00 | | 0.84 | 100.00 | | 0.94 | 100.00 | | 0.63 | 100.00 | |
| | 20 | 0.21 | 100.00 | 3.46 | 100.00 | | 2.14 | 100.00 | | 1.41 | 100.00 | | 2.24 | 100.00 | |
| | 50 | 0.42 | 100.00 | 12.39 | 100.00 | | 9.41 | 100.00 | | 4.21 | 100.00 | | 11.33 | 100.00 | |
| | 100 | 0.76 | 100.00 | 51.96 | 100.00 | | 23.04 | 100.00 | | 7.62 | 100.00 | | 45.11 | 100.00 | |
| | 150 | 2.69 | 100.00 | 235.31 | 100.00 | | 30.39 | 95.56 | 7.50 | 16.31 | 100.00 | | 83.97 | 95.56 | 24.55 |
| | 200 | 2.30 | 100.00 | 490.96 | 82.22 | 28.31 | 33.23 | 86.67 | 11.61 | 23.51 | 100.00 | | 119.78 | 86.67 | 16.78 |
| 30 | 5 | 0.26 | 100.00 | 1.31 | 100.00 | | 1.31 | 100.00 | | 2.41 | 100.00 | | 0.82 | 100.00 | |
| | 10 | 0.58 | 100.00 | 3.29 | 100.00 | | 4.84 | 100.00 | | 5.01 | 100.00 | | 3.46 | 100.00 | |
| | 20 | 0.55 | 100.00 | 11.85 | 100.00 | | 34.45 | 100.00 | | 17.41 | 100.00 | | 22.52 | 100.00 | |
| | 50 | 3.46 | 100.00 | 72.36 | 100.00 | | 69.31 | 73.33 | 7.79 | 49.68 | 97.78 | 5.22 | 116.31 | 93.33 | 13.26 |
| | 100 | 8.53 | 100.00 | 364.86 | 93.33 | 34.6 | 83.99 | 35.56 | 21.07 | 99.73 | 88.89 | 26.04 | 187.71 | 44.44 | 50.13 |
| | 150 | 20.17 | 100.00 | 892.01 | 75.56 | 44.98 | 86.00 | 35.56 | 28.42 | 89.71 | 62.22 | 20.78 | 187.43 | 15.56 | 59.41 |
| | 200 | 22.46 | 100.00 | 575.98 | 23.33 | 42.44 | 45.49 | 35.56 | 31.04 | 85.78 | 46.67 | 26.52 | 202.41 | 13.33 | 55.23 |

У овом раду су приказани упоредни резултати три егзактне методе решавања RpCFLP проблема (CC&G, BD и LIP) изложени у [4], CPLEX 20.1.0 решавача и IBVNS имплементације, за $|I| < 40$. Као критеријум заустављања свих метода коришћено је максимално време извршавања, које је ограничено на 1000 секунди. У Табели 1, свака врста приказује резултате добијене на по 45 инстанци које имају исте вредности $|I|$ и $|K|$, а различите вредности за $p$ и $\alpha_1$. Притом, $\alpha_1 \in \{0.2, 0.5, 0.8\}$, $\alpha_2 = 1 - \alpha_1$, а за $p$ су узете целобројне вредности најближе вредностима $\frac{|I|}{5}$, $\frac{|I|}{4}$ и $\frac{|I|}{3}$ (осим у случају када је $|I| = 10$, када су за $p$ узете вредности 2, 3 и 4). Колоне $t(s)$ садрже просечна времена за које су методе успешно достигле оптимално решење (у секундама). У колонама $opt(\%)$ приказан је проценат инстанци (од 45) за које је проблем решен до оптималности. Квалитет резултата добијених предложеном IBVNS методом процењен је упоређивањем са оптималним решењима добијеним егзактним решавачем CPLEX[1]. У колонама $gap(\%)$, за егзактне методе, приказане су просечне gap вредности које представљају одступање између доње и горње границе, у случају када није постигнуто оптимално решење. Уколико се на свим инстанцама једне групе достигнуло оптимално решење, просечна gap вредност је нула (ћелија у табели је празна). Због разлике у платформама коришћеним за тестирање, а у циљу коректног поређења резултата CC&G, BD, LIP, CPLEX решавача и IBVNS метода, извршено је скалирање времена извршавања метода приказаних у [4]. Из резултата представљених у Табели 1, може се закључити да једино IBVNS метода налази сва оптимална решења, за најкраће време извршавања. Прецизније, просечно време налажења оптималних решења за IBVNS износи 2.99s, за CPLEX 130.05s, док су просечна времена налажења решења за CC&G, BD и LIP редом 20.58s, 19.48s и 47.88s.

## 5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је разматран проблем $p$-центра са поузданом мрежном шемом. Егзактни решавач CPLEX 20.1.0 који користи математичку формулацију проблема не даје чак ни допустива решења за веће димензије проблема, што је и очекивано, имајући у виду да је разматрани проблем NP-тежак. Предложена итеративна варијанта основне методе променљивих околина (IBVNS) у кратком времену извршавања достиже сва оптимална решења на инстанцама мањих и средњих димензија и обезбеђује квалитетна решења на инстанцама проблема већих димензија. Штавише, у поређењу са резултатима три егзактне методе решавања RpCFLP проблема (CC&G, BD и LIP) изложених у [4] и резултатима добијеним CPLEX решавачем, IBVNS показује најбоље перформансе у смислу квалитета решења, као и времена извршавања алгоритма. Прецизније, на инстанцама које садрже до 30 корисника и највише 200 сценарија, једино IBVNS метода налази сва оптимална решења, за најкраће време извршавања. Будућа истраживања могу укључити паралелизацију и хибридизацију предложене методе са другим хеуристикама за решавање овог или сличних локацијских проблема.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] An, Y., Zeng, B., Zhang, Y., and Zhao, L. (2014). Reliable p-median facility location problem: Two-stage robust models and algorithms. *Transportation Research Part B: Methodological*, 64, 54-72.

[2] Caunhye, A. M., Zhang, Y., Li, M., and Nie, X. (2016). A location-routing model for prepositioning and distributing emergency supplies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 90, 161-176.

---

[1] Време извршавања CPLEX решавача за потребе провере оптималности решења добијених IBVNS методом било је проширено на 7200 секунди, за сваку тестирану инстанцу.

[3] Daskin, M. S. (2013). Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications. Wiley, 2nd edition.

[4] Du, B., Zhou, H., and Leus, R. (2020). A two-stage robust model for a reliable p-center facility location problem. *Applied Mathematical Modelling*, 77, 99-114.

[5] Hansen, P., Mladenović, N., and Moreno Pérez, J.A. (2010). Variable neighbourhood search: methods and applications. *Annals of Operations Research*, 175(1), 367-407.

[6] Mladenović, N. and Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. *Computers and Operations Research*, 24(11), 1097-1100.

[7] Snyder, L. V., and Daskin, M. S. (2005). Reliability models for facility location: The expected failure cost case. *Transportation Science*, 39(3), 400-416.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# DECOMPOSITION-BASED EFFICIENT HEURISTIC FOR SCHEDULING

DRAGUTIN OSTOJIĆ[1], ANDRIJA UROŠEVIĆ[2], TATJANA DAVIDOVIĆ[3], TATJANA JAKŠIĆ KRÜGER[3] AND DUŠAN RAMLJAK[4]

[1] Faculty of Science, University of Kragujevac, Kragujevac, dragutin.ostojic@pmf.kg.ac.rs
[2] Faculty of Mathematics, University of Belgrade, Belgrade, andrija.urosevic@matf.bg.ac.rs
[3] Mathematical Institute, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, {tanjad, tatjana}@mi.sanu.ac.rs
[4] School of Professional Graduate Studies at Great Valley, The Pennsylvania State University, Malvern, dusan@psu.edu

---

***Abstract:*** *We develop Decomposition-based Iterative Stochastic Transformation (DIST), an efficient heuristic algorithm for a well-studied hard combinatorial optimization problem, scheduling independent jobs on identical machines, known as* $P||C_{max}$*. DIST explores the relationship between* $P||C_{max}$*, Bin Packing Problem, and Multiple Subset Sum Problem to provide high-quality solutions. DIST relies on a partitioning strategy and iteratively performs nondeterministic transformations of current solution thus it represents a stohastic search algorithm. It has a built-in mechanism to guarantee the optimality of the provided solution and, given enough time, DIST can always solve a given instance to optimality. However, DIST exhibits very good performance within short execution time, as it is demonstrated by the experimental evaluation on the popular benchmark sets of instances.*

***Keywords:*** *combinatorial optimization, scheduling independent jobs on identical machines, problem duality, stochastic search, lower and upper bounds*

---

## 1. INTRODUCTION

Recently, authors often use some ad hoc approaches when developing optimization algorithms. For example, they formulate a Mixed-Integer Programming (MIP) model, employ an off-the-shelf solver or use some standard paradigms (evolutionary algorithms, local search procedures based on metrics, etc.). Such approaches mostly disregard the a priori knowledge about the problem that can have a significant impact on the algorithm efficiency. A systematic approach to the development of an optimization method, based entirely on the characteristics of the problem under consideration, can result in an algorithm whose efficiency significantly outperforms conventional approaches.

In addition, this approach could explore theoretical relations between similar optimization problems and utilize known efficient methods for one problem to address subproblems of the other. For example, scheduling independent jobs on identical machines, known as $P||C_{max}$ in the three-filed notation [5], Bin Packing Problem (*BPP*) and Multiple Subset Sum Problem (*MSSP*) [11] are $\mathcal{NP}$ problems that share a common theoretical background and can often be considered as dual problems [8]. The correlation between these problems should be explored in both theoretical considerations and the development of efficient solution methods. Determination of lower bounds is a very good example of leveraging this correlation [2, 8].

Our main contribution is the development of Decomposition-based Iterative Stochastic Transformation (*DIST*), an efficient heuristic algorithm for $P||C_{max}$, that exploits correlation between $P||C_{max}$, *BPP,* and *MSSP*. Their mutual theoretical properties can improve performance of the proposed algorithm and guarantee the optimality of the obtained solution given enough time. Our approach employs a partitioning technique that attempts to iteratively improve the current $P||C_{max}$ solution by solving its subproblems as the instances of *MSSP*. It starts with random partitions defining smaller subproblems as they have higher potential for improving the current solution. If the current solution is not improved algorithm selects larger subproblems although potential to improve the current solution steadily decreases. Thus, to not waste time and resources, the individual steps of the algorithm are time limited. Nevertheless, *DIST* can provide high quality solutions within a short execution time, as it is demonstrated by the experimental evaluation and comparison with the state-of-the-art algorithm [4] on the same benchmark sets of instances.

The paper is organized in the following way. After a brief introduction, the MIP formulation of all considered problems is provided and their analogy is discussed in Section 2. The proposed algorithm is described in Section 3. Section 4 contains an experimental evaluation on the benchmark instances from the relevant literature. Concluding remarks and directions for future research are provided in Section 5.

## 2. FORMULATION OF RELATED OPTIMIZATION PROBLEMS

In this section we describe *MSSP*, $P||C_{max}$, and *BPP* and provide their MIP formulations.

*MSSP* can be described as follows. Let $W = \{1, \dots, g\}$ be a given set of $g \in N$ items, with positive integer weights $w = \{.w - 1., \dots, w_g\}$, and let $K = \{1, \dots, k\}$ represents a set of $k \in N$ identical knapsacks with capacity $c \in N$. The objective is to select a subset of items that can be packed in the knapsacks in such a way to maximize the total weight of selected items.

For a given 4-tuple $(W, w, K, c)$, mathematical programming formulation of *MSSP* is given by the Integer Linear Program (ILP) in [1]:

$$\max \sum_{i \in K} \sum_{j \in W} w_j x_{ij} \tag{1}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i \in \mathbf{K}} x_{ij} \leq 1, \qquad j \in W, \tag{2}$$

$$\sum_{j \in W} w_j x_{ij} \leqslant c, \qquad i \in \mathbf{K}, \tag{3}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \qquad j \in W, i \in \mathbf{K}. \tag{4}$$

where $x_{ij}$ takes value 1, if item $j$ is assigned to knapsack $i$, and 0 otherwise.

*MSSP* is a specialization of Multiple 0-1 Knapsack Problem and generalization of Subset Sum Problem (*SSP*) [11].

When describing $P||C_{max}$ scheduling problem [9], a set $M = \{1, \dots, m\}$ of $m \in N$ identical independent machines, and a set $J = \{1, \dots, n\}$ of $n \in N$ independent jobs with processing times $p = \{.p - 1., \dots, p_n\}$ should be given. Each job should be assigned to exactly one machine in such a way to minimize the latest machine completion time (makespan) denoted by $C_{max}$. Let us define $C_i$ as the sum of processing times of jobs assigned to machine $i$. Then $C_{max} = \max\{C_1, \dots, C_i, \dots, C_m\}$.

According to [12], $P||C_{max}$ for a given 3-tuple $(J, p, M)$ can be formulated as the following ILP:

$$\min C_{\max} \tag{5}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i \in \mathbf{M}} x_{ij} = 1, \qquad j \in \mathbf{J}, \tag{6}$$

$$\sum_{j \in \mathbf{J}} p_j x_{ij} \leqslant C_{\max}, \qquad i \in \mathbf{M}, \tag{7}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \qquad i \in \mathbf{M}, j \in \mathbf{J}. \tag{8}$$

where $x_{ij}$ takes value 1, if job $j$ is assigned to machine $i$, and 0 otherwise.

***Theorem 1***: $P||C_{max}$ for a given 3-tuple $(J, p, M)$ is equivalent to *MSSP* for 4-tuple $(J, p, M, c)$ in which all jobs are used, and $c$ is minimal, i.e.:

$$\min c \tag{9}$$

$$\text{s.t.} \quad MSSP \ \text{ for } \ (J, p, M, c), \tag{10}$$

$$\sum_{i \in \mathbf{M}} x_{ij} = 1 , \qquad j \in \mathbf{J} , \tag{11}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} , \qquad j \in \mathbf{J} , i \in \mathbf{M} . \tag{12}$$

***Proof 1***: Maximization required in (10), if feasible, under the constraints (11) will always return the sum of all items, regardless the value of $c$ . Constraints (11) are required to strengthen constraints (2) and to ensure the constraints (6) are satisfied. Having included all items (jobs) in the selection, as it is stated by constraints (11), constraints (3) reduce to constraints (7). After these reductions, $c$ can be observed as $C_{\max}$, and its minimization in (9) leads to the solution of $P||C_{max}$.

For a given bins capacity $q$ , and a set $X = \{1, \dots, x\}$ of $x \in N$ items with positive weights $y = \{.y - 1., \dots, y_x\}$ , the goal of *BPP* is to determine minimal number of bins $b \in N$ such that each item can be assigned to exactly one bin from the set of bins $B = \{1, \dots, b\}$ .

*BPP* can be considered as dual problem to $P||C_{max}$ [8] and can also be interpreted via *MSSP*.

ILP for *BPP* described by 3-tuple $(X, y, q)$ is formulated in [12]:

$$\min |B| \tag{13}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i \in \mathbf{B}} x_{ij} = 1 , \qquad j \in \mathbf{X} , \tag{14}$$

$$\sum_{j \in \mathbf{X}} y_j x_{ij} \leqslant \mathbf{q} , \qquad i \in \mathbf{B} , \tag{15}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} , \qquad i \in \mathbf{B} , j \in \mathbf{X} . \tag{16}$$

where $x_{ij}$ takes value 1, if item $j$ is assigned to bin $i$ , and 0 otherwise.

***Theorem 2***: *BPP* for a given 3-tuple $(X, y, q)$ is equivalent to *MSSP* described by 4-tuple $(X, y, B, q)$ where all jobs are used, and $|B|$ is minimal, i.e.,

$$\min |B| \tag{17}$$

$$\text{s.t.} \quad MSSP \ \text{ for } \ (X, y, B, q), \tag{18}$$

$$\sum_{i \in \mathbf{B}} x_{ij} = 1 , \qquad j \in \mathbf{X} , \tag{19}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} , \qquad j \in \mathbf{X} , i \in \mathbf{B} . \tag{20}$$

***Proof 2***: Like in Proof 1, maximization required in (18), if feasible, under the constraints (19) will always return the sum of all items, regardless the value of $q$ . Constraints (19) are required to strengthen constraints (2) and to ensure constraints (14) are satisfied. Having included all jobs in the selection, as it is stated by constraints (19), constraints (3) reduce to constraints (15). After these transformations $c$ can be observed as $q$ , and its minimization in (17) provides a solution for *BPP*.

## 3. DIST DESCRIPTION

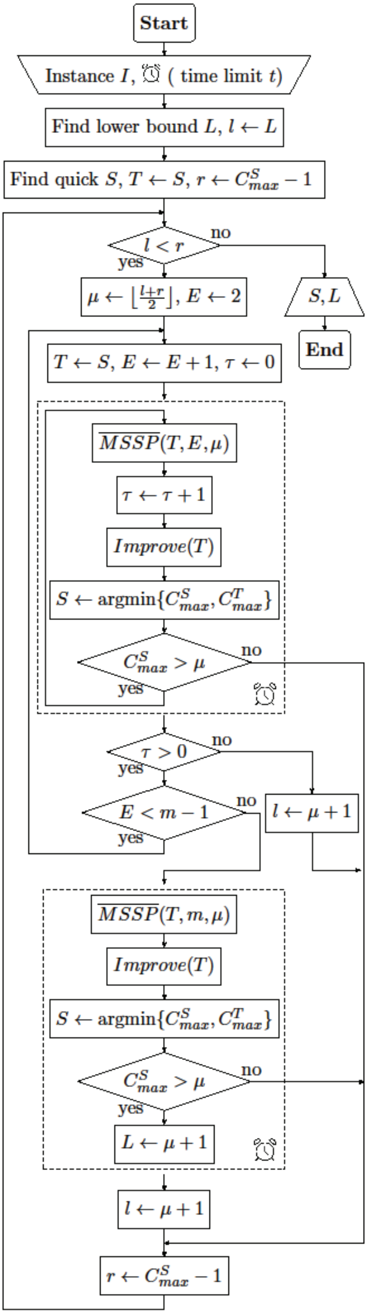


**Figure 1: DIST block diagram**

The basic idea of *DIST* is the divide and conquer strategy, i.e., solving a part of the problem with an aim to improve the quality of the current solution. More precisely, the set of machines is partitioned in two parts and the one containing the most heavily loaded machine is considered and solved as an instance of *MSSP*. The only way to improve the current solution is to decrease the load of the most heavily loaded machine. In our experience, iteratively applying this procedure can lead to a high-quality solution in a short amount of time. Figure 1 shows the block diagram of *DIST*. The *DIST* algorithm accepts the instance $I$ of the problem and the time limit for the timed parts. Time limit is enforced within the operating system, and it can interrupt any action in the algorithm. In Figure 1, the time limited parts are represented with a rectangle containing a clock in the lower right corner. Main components of *DIST* algorithm are explained in the reminder of this section.

### 3.1. Lower bound strategies

The first very important step for performance, and the primary strategy for the solver's ability to guarantee the optimality of the solution, is to find the best possible lower bound. Given an instance of $P||C_{max}$, lower bound $L$ is obtained as a maximum of several lower bounds from the literature. With the assumption that jobs are sorted by processing time such that $p_1 \geq p_2 \geq \cdots \geq p_n$ trivial lower bound is defined as $L_{TV} = \max\{L_0, L_1, L_2, L_v\}$, where $L_0 = \left\lceil \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{n} p_j \right\rceil$, $L_1 = p_1$, $L_2 = p_m + p_{m+1}$, and $L_v = \sum_{j=n-v+1}^{n} p_j$, where $v = \lceil n/m \rceil$ [2]. $L_{DM}$ [2], and $L_{HS}$ [8] are based on *BPP*. More complex one is $L_\theta$ [2]. Every lower bound is improved using lifting procedure [6, 7], so we get $\widehat{L_{TV}}$, $\widehat{L_{DM}}$, $\widehat{L_{HS}}$, and $\widehat{L_\theta}$. Finally, $L = \max\{\widehat{L_{TV}}, \widehat{L_{DM}}, \widehat{L_{HS}}, \widehat{L_\theta}\}$.

### 3.2. Upper bound strategies

The next step (*Find quick S* in Figure 1) considers finding initial solution, i.e., upper bound. It is important to provide our algorithm with a reasonably good solution quickly, thus, we apply the well-known longest-processing-time-first scheduling ($LPT$). The principle is simple: as long as there are unscheduled jobs, take the longest among them and assign to the least loaded machine - earliest start (ES) scheduling rule. Approximation ratio of $LPT$ is $\frac{4}{3} - \frac{1}{3m}$ [5].

In an improvement of $LPT$, the $SLACK$ heuristic [3], the array of initially sorted jobs is divided into $m$ tuples of approximately $\frac{n}{m}$ size. The tuples are sorted in non-increasing order according to the difference between the longest and the shortest job and concatenated into a joint list of jobs that are scheduled according to ES scheduling rule. Consequently, approximation ratio of $SLACK$ is improved to $\frac{4}{3} - \frac{1}{3(m-1)}$ [3]. Finally, $S = \operatorname{argmin}\{C_{\max}^{LPT}, C_{\max}^{SLACK}\}$.

### 3.3. Heuristic strategy

The main part of the algorithm is a binary search for a solution with the minimum makespan in the interval $[l, r]$, initially set to $[L, C_{\max}^{S} - 1]$, whose size is adjusted accordingly during the search. The goal is to find a solution with makespan less than or equal to the middle value $\mu$ (see Figure 1). For each value $\mu$, the search is performed by timed iterative trials. Temporary solution $(T)$ is set to $S$, $E$ is incremented until $E = m - 1$, and the transformation counter ($\tau$) is initialized. The goal is to improve $T$ by using an exact *MSSP* solver [15] on a subproblem containing the most heavily loaded machine, $E - 1$ randomly selected machines, and all jobs on them. Addressing $P||C_{max}$ by *SSP* [7, 14] and *MSSP* [6] was limited to 2-machines subproblems. To the best of our knowledge, we are the first to include more than two machines to create subproblems. After each transformation, *Improve* procedure is applied to $T$ and $S$ is updated. *Improve* procedure is using MSSP for $E = 2$ where the second machine is chosen in sequence from all other machines and that procedure is repeated until there is an improvement. If $C_{\downarrow}\mathrm{max}^{\uparrow}S \le \mu$, the search interval is adjusted and algorithm proceeds to the next step. If the time limit is exceeded without at least one transformation for the given $E$, the search for $\mu$ is unsuccessful and the left part of the interval must be discarded. If no solution is found for $E = m - 1$ but some transformations are performed, then there is a chance to obtain an exact solution by solving the *MSSP* for all jobs and machines within a given time limit. If the transformation is performed and a feasible solution is not found, a new lower bound can be guaranteed.

## 4. EXPERIMENTAL EVALUATION

We evaluate *DIST* in comparison with state-of-the-art solver Improved Arc-Flow (*IAF*) [4]. Comparison is done on 700 instances with ratio $\frac{n}{m} = 2$ [13]. Our solver is tested using GCC version 10.4.0, Linux 4.15.0-143-generic, Ubuntu 18.04.5 LTS on Intel(R) Core(TM) i5-6400 CPU @ 2.70GHz with 8GB RAM. IAF solver is tested by IAF authors using CPLEX 12.10 on Intel(R) Core(TM) i7-4930K CPU @3.40 GHz and 34.0 GB of RAM. Obtained results enable us to ignore the superiority of hardware resources used to execute IAF.

**Table 1:** DIST and IAF performance comparison on used benchmark instances

| **Solver** | **Performance** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Time [s]** | **Time to Best [s]** | **Trans.** | **Trans. to Best** | **Optimality Guaranties [%]** | **Best [%]** | **Number of Tests** |
| *IAF (state of the art)* | 184.78 | 184.78 | / | / | 100 | 100 | 1 |
| *DIST limit 0.06s* | 107.48 | ***32.56*** | 1069608 | 440121 | 78.71 | 96.64 | 30 |

Having in mind that *DIST* is a stochastic heuristic, it is run 30 times for all instances to obtain statistical significance. Obtained results are provided in Table 1. The second and the third columns show the sum of the total execution times and sum of times required to obtain the best solution, respectively, for all 700 instances. Like for times, sum of the total number of performed transformations and the sum of number of transformations until the best solution is found are presented as Trans. and Trans. to Best. The percentage of instances for which algorithms can guarantee optimality of solutions is shown in the next column. The penultimate column shows the percentage of best solutions in all runs (700*30), while the last column shows the number of runs per instance. For DIST we summed up the worst times and the worst numbers of transformations out of the all the best provided solutions in 30 repetitions for each of 700 instances.

Both algorithms have solved all instances. Although it is not an exact solver, our heuristic can guarantee the optimality of the solution in almost 79% of cases. As *DIST* achieved almost 97% optimal solutions, it can be declared reliable heuristic in this experiment. *DIST* execution time is strongly related to given time limits. For all tested instances, 0.06s time limit was enough to obtain optimal solution. In comparison with *IAF*, *DIST* can find solutions about 6 times faster, and complete search 40% faster. Most instances require significantly less than 0.06s for subproblem.

## 5. CONCLUSION

We considered a systematic approach to the development of an optimization method based on the characteristics of the problem, exploring theoretical relations between similar optimization problems, and utilizing known efficient methods for one problem to address subproblems of the other. Our approach has been explained on the problem of scheduling independent jobs on identical machines ($P||C_{max}$) as a case study. The resulting efficient heuristic algorithm, named Decomposition-based Iterative Stochastic Transformation (*DIST*), explores the analogy between $P||C_{max}$, Bin Packing Problem (*BPP*) and Multiple Subset Sum Problem (*MSSP*). We compared *DIST* to state-of-the-art exact algorithm on benchmark instances from literature. As expected, *DIST* performed better w.r.t. total runtime while reaching the optimal solution for all instances. However, even though *DIST* is heuristic algorithm, it guarantees optimality in almost 79% benchmark instances.

As future work we plan to improve *DIST* performance by including new search mechanisms and lower bounds and exploring more benchmark instances. As explored problems can be easily transformed one into another, the same strategy can be used to develop efficient algorithms for any of them and that could be another avenue of future work. Along the same lines, the proposed approach could be applied to other sets of similar optimization problems.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovations of Republic of Serbia, agreements nos. 451-03-47/2023-01/200029 and 451-03-47/2023-01/200122, Science Fund of Republic of Serbia under the project AI4TrustBC, and Penn State Great Valley Big Data lab. We thank Gharbi, Anis. and Bamatraf, Khaled for providing IAF results.

## REFERENCES

[1] Caprara, A., *et al.* (2000). The multiple subset sum problem. SIAM Journal on Optimization, 11(2), 308-319.

[2] Dell'Amico, M., & Martello, S. (1995). Optimal scheduling of tasks on identical parallel processors. ORSA Journal on Computing, 7(2), 191-200.

[3] Della Croce, F., & Scatamacchia, R. (2020). The longest processing time rule for identical parallel machines revisited. Journal of Scheduling, 23(2), 163-176.

[4] Gharbi, A., & Bamatraf, K. (2022). An Improved Arc Flow Model with Enhanced Bounds for Minimizing the Makespan in Identical Parallel Machine Scheduling. Processes, 10(11), 2293.

[5] Graham, R. L. (1969). Bounds on multiprocessing timing anomalies. SIAM Journal on Applied Mathematics, 17(2), 416–429

[6] Haouari, M., & Jemmali, M. (2008). Tight bounds for the identical parallel machine-scheduling problem: Part II. International Transactions in Operational Research, 15(1), 19-34.

[7] Haouari, M., *et al.* (2006). Tight bounds for the identical parallel machine scheduling problem. International Transactions in Operational Research, 13(6), 529-548.

[8] Hochbaum, D. S., & Shmoys, D. B. (1987). Using dual approximation algorithms for scheduling problems theoretical and practical results. Journal of the ACM, 34(1), 144-162.

[9] Lawrinenko, A. (2017). Identical parallel machine scheduling problems: structural patterns, bounding techniques and solution procedures (Doctoral dissertation, Friedrich-Schiller-Universität Jena).

[10] Maleš, U., *et al.* (2023). Controlling the Difficulty of Combinatorial Optimization Problems for Fair Proof-of-Useful-Work-Based Blockchain Consensus Protocol. Symmetry, 15(1), 140.

[11] Martello, S., & Toth, P. (1990). Knapsack problems: algorithms and computer implementations. John Wiley & Sons, Inc.

[12] Mokotoff, E. (2004). An exact algorithm for the identical parallel machine scheduling problem. European Journal of Operational Research, 152(3), 758-769.

[13] Mrad, M., & Souayah, N. (2018). An arc-flow model for the makespan minimization problem on identical parallel machines. IEEE Access, 6, 5300-5307.

[14] Ostojić, D., *et al.* (2022). Comparative Analysis of Heuristic Approaches to P|| Cmax, Proc. 11th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems, ICORES 2022, (virtual), Feb. 3-5, 2022, pp. 259-266.

[15] Pisinger, D., & Toth, P. (1998). Knapsack problems. Handbook of Combinatorial Optimization: Volume1–3, 299-428.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50. СИМПОЗИЈУМ О ОПЕРАЦИОНИМ ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# VNS-BASED MATHEURISTICS FOR THE TWO DIMENSIONAL VECTOR BIN PACKING PROBLEM

ĐORĐE STAKIĆ[1], TATJANA DAVIDOVIĆ[2], ANA ANOKIĆ[3], DRAGAN UROŠEVIĆ[2]

[1] University of Belgrade – Faculty of Economics and Business, djordje.stakic@ekof.bg.ac.rs
[2] Mathematical Institute – Serbian Academy of Sciences and Arts, {tanjad, draganu}@mi.sanu.ac.rs
[3] Academy of Technical and Art Applied Studies Belgrade – Department School of Information and Communication Technologies, ana.anokic@ict.edu.rs

---

***Abstract:*** *We consider the Two-dimensional Vector Bin Packing Problem (2D-VBPP) that has an important application in organizing packages into containers for oversea transportation. Starting from the existing Integer Linear Programming model, we add some tightening constraints that enable to generate the better first feasible solution. In addition, we apply three matheursitic methods based on Variable neighborhood search: Variable Neighborhood Branching (VNB), Variable Neighborhood Decomposition Search for 0-1 MIP problems (VNDS-MIP), and Variable Intensity Neighborhood Search (VINS). To obtain high-quality solution, the parameter tuning is performed in all three methods. We compare matheuristics with each other and with CPLEX exact solver. The experimental results on the set of 50 instances have shown that matheuristics in average give solutions of better quality compared to exact solver. Regarding the mutual comparison between matheuristics, we can conclude that in average VINS outperforms other two with respect to the solution quality.*

***Keywords:*** *Combinatorial optimization, integer linear program, hybrid heuristics, matheuristics, Hamming distance, fixing variables*

---

## 1. INTRODUCTION

Variety of metaheuristic methods are used to address different optimization problems for decades. These methods are designed for a particular problem or a group of similar problems, starting from a basic concept of a specific metaheuristic. To provide efficiency and high quality solutions, many elements of the method must be carefully adapted to the considered problem. On the other hand, matheuristics are general-purpose and model-based methods [9] that can be directly applied to different problems. They are created as hybrids incorporating one metaheuristic and one exact optimization method. The important element in matheuristics is mathematical programming formulation of the problem. The *Mixed Integer Programming* (MIP) model, which is generally used by exact solvers, is explored by matheuristic in the following way. Metaheuristic rules are used to create sub-problems of the original problem; the resulting sub-problems are then treated by exact solver within given time limit. With enough resources, matheuristics are able to explore the entire search space and provide optimal solution of the problem.

The three matheuristic methods based on the well-known metaheuristics Variable neighborhood search (VNS): *Variable Neighborhood Branching* (VNB), *Variable Neighborhood Decomposition Search for 0-1 MIP problems* (VNDS-MIP) [7], and *Variable Intensity Neighborhood Search* (VINS) [8] are all described in details in [2]. These methods are used for maximizing the ferry's operator profit in [16] within a complex ferry transport optimization problem that includes given sets of routes and passenger preferences. They are also applied in [10] to the real-life vehicle routing problem consisting of visiting and serving customers under time and capacity limits in order to minimize the total traveled distance. Experimental results have proven that matheurstics outperformed exact solver, with VINS producing the best solutions in the majority of tested instances. Two of the considered matheuristics, VNB and VNDS-MIP, as well as *Local*

*Branching* (LB) [3], [6] are successfully applied to the problem of the barge container ship routing [11] in order to maximize the shipping company profit. Moreover, VNDS-MIP is extended to handle general integer variables, besides binary. The best performance is demonstrated by VNDS-MIP.

The aim of this work is to additionally explore the efficiency of VNS-based matheuristics when applied to the Two-dimensional Vector Bin Packing Problem (2D-VBPP). This problem consists of selecting bins for packing the set of given two-dimensional items in order to minimize the total cost. More about the problem can be found in the early work [5]. The 2D-VBPP is proven to be NP-hard and has been addressed by different heuristic methods, such as: a simple greedy heuristic, Simulated annealing and Column generation in [5], 34 greedy heuristics in [4], different variants of Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) in [12], variants of Variable neighborhood search in [13], [14], and [15]. As mentioned before, these metaheuristics are not based on MIP formulation and are either designed or adapted for this particular problem through the long process of software developing and parameter tuning. Therefore, in this paper we omit the comparison of matheuristic results with previously designed metaheuristics, and compare matheurists between each other and against exact CPLEX solver.

The remainder of the paper is organized as follows. MIP formulation of the problem and matheuristic approaches are described in Section 2, experimental results are presented in Section 3 and Section 4 states the conclusion.

## 2. MATHEMATICAL FORMULATION BASED APPROACHES TO THE 2D-VBPP

Matheuristic methods depend significantly on the mathematical formulation of the considered problem. Moreover, they are sensitive to the order of constraints and the quality of the first feasible solution provided by exact solver. Therefore, among several equivalent formulations of the 2D-VBPP, the best performing one is chosen and described in this section. We improved the standard mathematical formulation of the 2D-VBPP introduced in [5] by including an additional set of constraints in order to explore the search space more efficiently and improve the quality of the solutions. In addition, a brief overview of explored matheuristics is provided.

### 2.1. The integer linear programing model of the 2D-VBPP

To present the *Integer Linear programing* (ILP) formulation, the following notations must be introduced. Generaly, the symbol $[x]$ is used to denote set of integer numbers $\{1,2,\dots,x\}$, for any integer value $x$ . In addition:

- $np$ denotes the number of items,
- $nt$ denotes the number of bin types,
- $Ln_t$ denotes the number of available bins of type $t \in [nt]$,
- $(m_i, V_i)$ denotes the two dimensions (mass and volume) of item $i \in [np]$,
- $(Lm_t, LV_t)$ denotes the limits in capacity (mass and volume) for bins of type $t \in [nt]$,
- $C_t$ denotes the cost of using bin of type $t \in [nt]$,

Mathematical formulation of the problem uses two sets of variables [5]:

- Binary variables $p_{ijt}$, defined by $p_{ijt} = 1$ if an item $i \in [np]$ is packed in bin $j \in [Ln_t]$ of type $t \in [nt]$, otherwise $p_{ijt} = 0$ ,
- Binary variables $k_{jt}$, defined by $k_{jt} = 1$ if a bin $j \in [Ln_t]$ of type $t \in [nt]$ is used, otherwise $k_{jt} = 0$ .

Using the above notations, the ILP formulation for the 2D-VBPP can be stated as follows:

$$(\min) \quad C = \sum_{t=1}^{nt}\sum_{j=1}^{Ln_t} C_t k_{jt} \qquad (1)$$

$$\sum_{t=1}^{nt}\sum_{j=1}^{Ln_t} p_{ijt} = 1, \qquad i \in [np] \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{np} p_{ijt} m_i \le k_{jt} Lm_t, \quad t \in [nt], \quad j \in [Ln_t] \qquad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{np} p_{ijt} V_i \le k_{jt} LV_t, \quad t \in [nt], \quad j \in [Ln_t] \qquad (4)$$

$$k_{jt} \le \sum_{i=1}^{np} p_{ijt}, \quad t \in [nt], \quad j \in [Ln_t] \qquad (5)$$

$$p_{ijt} \in \{0,1\}, \quad i \in [np], \quad t \in [nt], \quad j \in [Ln_t] \qquad (6)$$

$$k_{jt} \in \{0,1\}, \quad t \in [nt], \quad j \in [Ln_t] \qquad (7)$$

Objective function (1) to be minimized stands for the total cost of bins that are used. Constraints (2) ensure that each item is packed in exactly one bin. The purpose of constraints (3) and (4) is to prevent the total mass and volume of packed items to exceed the limits of bins. Constraints (5) do not allow empty bins to be included in transport. More precisely, if there is no item packed in bin $j \in [Ln_t]$ of type $t \in [nt]$, then $k_{jt}$ takes the value 0. We introduce these constraints to tighten the formulation and, as a result, the first feasible solution generated with this model has significantly better quality with respect to the case when original model from [5] is used. Finally, (6) and (7) define the type of variables used in the formulation.

The presented mathematical formulation includes $(np+1)\sum_{t=1}^{nt} Ln_t$ variables in total. Previously, it was assumed that the number of available bins for each type is equal to the total number of items $(np)$ and, therefore, the total number of variables was $(np+1)np \cdot nt$ . Another important contribution of this formulation is the estimated upper bounds for the number of bins of each type. Namely, using simple greedy procedure, we generated the initial solution for the VNS method proposed in [14] and run it on each instance and on each of the $t \in [nt]$ homogeneous cases (assuming all containers are of the same type). VNS is executed 20s for each instance with 50-500 items and 60s for each instance with 750-1000 items. In such a way, we obtained the better values for the largest number $Ln_t$ of bins of type $t$ in which all items can be packed. These values are used as upper bounds for the number of bins of type $t$, for each $t \in [nt]$. In this way, the number of variables and constraints are reduced. The estimated values $Ln_t$, $t \in [nt]$ and the total number of variables before and after reducing for each instance can be found at: https://doi.org/10.5281/zenodo.8105682.

## 2.2. Briefly about used matheuristics

For the experimental evaluation we utilized three matheuristic methods based on the well-known VNS metaheuristic: VNB, VNDS-MIP, and VINS. These methods are described in many detail in [2] and we provide here only some facts important for the application to the considered 2D-VBPP. First of all, it is important to note that metaheuristic rules to create sub-problem are applied only to binary variables, however, as all variables in the selected ILP for 2D-VBPP are binary, subproblems can be created out of all decision variables in the case of 2D-VBPP. Therefore, we are able to explore the full potential of the applied matheuristics. Next, all methods are implemented to explore time-limited CPLEX exact solver on the subproblems. This makes suitable mutual comparison of these methods, as well as their comparison with similar approaches from the literature. The data about problem instances should be given in a form of .lp file that combines objective function and constraints of the model with input parameters of a particular problem instance.

To create sub-problems, VNB explores (limits) Hamming distance between solutions. More precisely, the number of variables that can simultaneously change their values by CPLEX should belong to the specified interval defining the search sub-space, i.e., neighborhood. We improved the performance of the original VNB by changing the parameters of search intensification phase realized by the Variable Neighborhood Descent (VND) procedure. The detailed sequential search in relatively small-sized neighborhoods consumes a lot of time, mostly with the small improvements or without any improvements. Therefore, we propose to expand the search subspace explored in VND. On the other hand, VNDS-MIP and VINS explicitly fix some particular subsets of variables and CPLEX is allowed to perform changes only on the remaining variables.

In the next section we describe and compare the results obtained when these matheuristics are applied to 2D-VBPP benchmark instances generated in [14]. This data set is available at: https://doi.org/10.5281/zenodo.5319708.

## 3. EXPERIMENTAL RESULTS

All experimental tests are performed using Intel Xeon CPU E5-2620 v3, 2.40 GHz with 32GB RAM memory, under Linux operating system. CPLEX 12.6.2 solver is used for exact optimization. The set of benchmark instances is tested with running time limited to $t_{tot} = 1$ h for each instance and each method. As described in [2], in addition to the total running time $(t_{tot})$ and the limit of time for sub-problems $(t_{\lim})$ appearing as the only parameters in VNDS-MIP, VNB depends on the three more parameters: $kmin,$ $kmax$ and $kstep$ for minimum, and maximum neighborhood sizes, and the neighborhoods changing step, respectively. The parameters appear in both intensification phase (VND) and diversification phase (Shaking procedure) [2]. The values for these parameters in VND are set to 1, 21, 4, respectively, while their values in Shaking depend on the number of items ($np$ ) for each instance and are summarized in Table 1. VINS uses two arrays: instead the fixed value $t_{\lim}$ there is an array of times for subproblems denoted by *time_limits,* and an array of neighborhood sizes (*alphas*), specifying the percentage of variables that are used to create subproblems. The elements of these two arrays are used in pairs: for a neighborhood of size *alphas*$_i$, time limit for CPLEX should be *time_limits*$_i$. Based on the preliminary test results on the subset of instances the values of parameters that led to the best (in average) quality of solutions in average are presented in Table 1.

**Table 1:** Parameter values

| **Matheuristics** | **Parameter values** | | | |
|---|---|---|---|---|
| **VNB** | $t_{lim} = 120s$ | $k_{min} = 0.3np$ | $k_{max} = 1.5np$ | $k_{step} = 0.3np$ |
| **VNDS-MIP** | $t_{lim} = 300$ s | | | |
| **VINS** | *time_limits*$= \{360,720,900\}$ s | | *alphas*$= \{20,40,60\}$ % | |

The used set of instances consists of 50 instances, five for each of the following number of items $np \in \{50, 70, 100, 120, 150, 200, 350, 500, 750, 1000\}$. All instances are used for the experimental evaluation and the obtained results are summarized in Table 2. Each row of this table contains average values for each group of instances with the same number of items. Table 2 is organized as follows. The first column contains the number of items. The average value of the best found solution by CPLEX solver within 1h of execution is presented in the second column. The next column contains the average value of the objective function for the first feasible solution (FFS). This value is important to estimate the progress of matheuristics, as the FFS serves as a starting point for matheuristic methods. Average over 5 instances lower bound (LB) provided by CPLEX and time required to reach the best solution are presented in the next two columns. Table 2 continues with a group of three columns containing the average objective function value provided by the matheuristics within 1h of execution time, while the last three columns contain the average time needed by matheuristics to reach their best solution, the so-called time-to-best ($t_{best}$). The best average objective function values are bolded for each group of instances. The same holds for the average times. The detailed results for each particular instance can be found at https://doi.org/10.5281/zenodo.8102572.

From the results presented in Table 2 it can be concluded that, with respect to the solution quality, VINS outperformed CPLEX and both VNB and VNDS-MIP in average for all tested instances, except for instances with 50 items. It can be seen that VINS provided better results in the majority of examples, however, VNB in 2 cases (up to 100 items) and VNDS-MIP in 3 cases (up to 150 items) found the best solutions. Additionally, for 2 instances VNB generated solutions coincide with CPLEX and VINS, while for 3 instances VNDS-MIP and VINS provided the same best solutions.

**Table 2:** Experimental results

| **np** | **CPLEX** | | | | ***Matheuristics best obj.*** | | | ***Matheuristics*** $t_{best}$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Best obj.** | **FFS** | **LB** | $t_{best}$ | **VNB** | **VNDS-MIP** | **VINS** | **VNB** | **VNDS-MIP** | **VINS** |
| *50* | **30169.2** | 74172.4 | 29068.55 | 3299.5 | 30315.4 | 30177 | 30177 | 1571.2 | 1672.3 | **1088.4** |
| *70* | 44550.4 | 104714.2 | 42375.2008 | 3370.0 | 44871.8 | 44717.4 | **44082.4** | 2521.3 | **576.2** | 1723.0 |
| *100* | 62694 | 147920.8 | 59736.72 | 3439.3 | 62991.6 | 63036.2 | **62534.4** | 2691.7 | **1048.1** | 2102.4 |
| *120* | 73774.2 | 184827.2 | 70399.72 | 3442.0 | 74103.4 | 73779 | **73625** | 3001.7 | **1692.9** | 2248.1 |
| *150* | 90668 | 220118.8 | 86987.93 | 2798.2 | 92576.0 | 90513.6 | **90325.4** | 3328.0 | 1694.0 | **1635.2** |
| *200* | 122487.4 | 308736.6 | 117372.23 | 3306.6 | 136494.6 | 123454.2 | **122022.4** | 3547.3 | **1791.4** | 2061.0 |
| *350* | 216373 | 528302 | 206366.9 | 3294.4 | 377539.2 | 225502 | **214622** | 3600.0 | 3339.4 | **3148.8** |
| *500* | 314597 | 760376.8 | 293959.586 | **1359.7** | 618304.6 | 630715.2 | **310820** | 3600.0 | 3410.4 | 2727.1 |
| *750* | 472911.8 | 1148168.2 | 443192.02 | 2895.0 | 1014901.6 | 969672.4 | **471792.4** | 3581.7 | 3457.9 | **2890.4** |
| *1000* | 1513592.8 | 1513592.8 | 592570.52 | **848.0** | 1434392.4 | 1366633.2 | **640800** | 3665.6 | 3491.3 | 2724.8 |

In average, VINS found the best solutions on all groups of instances with the same number of items, which coincident with VNDS-MIP average value only in the case of instances with 50 items. Additional confirmation for the quality of VINS solutions can be obtained when compared to the CPLEX lower bounds presented in the LB column. The deviation of average objective function values provided by VINS from average lower bounds is between 3.81% and 8.14%. The relative differences between average objective function values obtained by VNDS-MIP and VINS do not exceed 5.1% for instances up to 350 items. However, for instances with 500, 750 and 1000 items the average VNDS-MIP objective function value is double compared to VINS. The difference between VNB and VINS with respect to the objective function value is even larger then between VNDS-MIP and VINS for almost all instances, particularly for instances with 350 items and more. In average for all instances, VNDS-MIP and VINS need almost equal time to find their best solutions, 2217 and 2235s, respectively, while CPLEX and VNB need more time, 2805s and 3110.8s, respectively.

## 4. CONCLUSION

Variable neighborhood search-based matheurstics are successfuly applied to the Two-dimensional Vector Bin Packing Problem. We contributed toward model improvement, VNB adjustment for this problem, and decreasing the number of variables by generating better upper bounds on the required number of containers. The set of 50 available instances from literature is used and the quality of obtained results is compared to the results of CPLEX exact solver. Among the considered matheuristics, Variable Intensity Neighborhood Search (VINS) outperformed the remaining methods with respect to the solution quality. Regarding the time required to find the best reported solution, slightly better performance exhibits VNDS-MIP. For the future work, we intend to additionally improve the model, if possible. Then, we'll explore the sensitivity of methods to extended set of parametar values through a very fine parameter tunning tests.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was partially supported by the Ministry of Science, Technological Development, and Innovations of the Republic of Serbia, Agreement No. 451-03-47/2023-01/200029.

## REFERENCES

[1] Christensen, Henri I., Arindam Khan, Sebastian Pokutta, and Prasad Tetali. (2016). "Multidimensional bin packing and other related problems: A survey." 1-34. preprint (https://tetali.math.gatech.edu/PUBLIS/CKPT.pdf).

[2] Davidović, T., Matijević, L. (2020). Matheuristics based on Variable Neighborhood Search, Proceedings of the XLVII Symposium on Operational research (SYM-OP-IS 2020), Belgrade, Serbia, 479-484.

[3] Fischetti, M., Lodi, A. (2003). Local branching, Mathematical programming 98, 23-47.

[4] Gabay, M., Zaourar, S. (2016). Vector bin packing with heterogeneous bins: application to the machine reassignment problem. Annals of Operations Research, 242(1), 161–194.

[5] Han, B. T., Diehr, G., Cook, J. S. (1994). Multiple-type, two-dimensional bin packing problems: Applications and algorithms. Annals of Operations Research, 50(1), 239–261.

[6] Hansen, P., Mladenović, N., Urošević, D. (2006). Variable neighbourhood search and local branching. Computer and Operations Research, 33(10), 3034–3045.

[7] Jovanović, P., Davidović, T., Lazić, J., Mitrović Minić, S. (2015). The variable intensity neighborhood search for 0-1 MIP. Proceedings of the XLII Symposium on Operations Research (SYM-OP-IS 2015), Srebrno jezero, Serbia, 229–232.

[8] Lazić, J., Hanafi, S., Mladenović, N., Urošević, D. (2010). Variable neighbourhood decomposition search for 0–1 mixed integer programs. Computers and Operations Research, 37(6), 1055–1067.

[9] Maniezzo, V., Stèutzle, T., Voss, S. (eds.) (2009). Matheuristics: hybridizing metaheuristics and mathematical programming, vol. 10. New York: Springer.

[10] Matijević, L., Ilin, V., Davidović, T., Jakšić-Krüger, T., Pardalos, P. M. (2023). Asymmetric Vehicle Routing Problem with Time and Capacity Constraints: Exact and Heuristic approaches. (submitted for publication).

[11] Maraš, V., Lazić, J., Davidović, T., Mladenović, N. (2013). Routing of barge container ships by mixed-integer programming heuristics. Applied Soft Computing, Volume 13, Issue 8, 3515-3528.

[12] Stakić, Đ., Anokić, A., Jovanović, R. (2019). Comparison of different GRASP algorithms for the heterogeneous vector bin packing problem. In: 2019 China-Qatar International Workshop on Artificial Intelligence and Applications to Intelligent Manufacturing (AIAIM), IEEE, 63–70.

[13] Stakić, Đ., Živković, M., Anokić, A., Rajković, R. (2018). Solving the problem of packing packages in the containers with the limitation of mass and the volume by VNS method. Proceedings of the XLV Symposium on Operational Research, Zlatibor, Serbia, September 2018, 112–117.

[14] Stakić, Đ., Živković, M., Anokić, A. (2021). A Reduced Variable Neighborhood Search Approach to the Heterogeneous Vector Bin Packing Problem", Information Technology and Control 50 (4), 808-826.

[15] Stakić, Đ. (2022), Mathematical models and different ways of applying multi-criteria optimization in intermodal transport, doctoral dissertation, Faculty of mathematics, University of Belgrade (in Serbian).

[16] Škurić, M., Maraš, V., Davidović, T., Radonjić, A. (2021). Optimal allocating and sizing of passenger ferry fleet in maritime transport. Research in Transportation Economics,Volume 90, 100868.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# МЕТОДА ПРОМЕНЉИВИХ ОКОЛИНА ЗА РЕШАВАЊЕ ПРОБЛЕМА P-ЦЕНТРА СА ПОУЗДАНОМ МРЕЖОМ

# VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR THE RELIABLE P-CENTER FACILITY LOCATION PROBLEM

ЈОВАНА РАЂЕНОВИЋ[1], СТЕФАН МИШКОВИЋ [2], ОЛИВЕРА СТАНЧИЋ [3]

[1] Рударско-геолошки факултет, Ђушина 7, Београд, Србија, jovana.radjenovic@rgf.bg.ac.rs
[2] Математички факултет, Студентски трг 16, Београд, Србија, stefan.miskovic@matf.bg.ac.rs
[3] Економски факултет, Лицеја Кнежевине Србије 3, Крагујевац, Србија, olivera.stancic@kg.ac.rs

---

***Резиме:*** *У овом раду је разматран проблем p-центра са поузданом мрежом (енгл. Reliable p-center facility location problem – RpCFLP). Решавање проблема подразумева иницијално успостављање p ресурса и алокације корисника, као и накнадну реалокацију корисника у складу са новонасталим сценаријима који садрже информације о онеспособљеним ресурсима и осталим измењеним улазним подацима. За решавање посматраног проблема предложена је метахеуристика заснована на итеративној варијанти основне методе променљивих околина (енгл. Iterated basic variable neighborhood search – IBVNS). Резултати тестирања предложене метахеуристике указују на њену ефикасност у погледу квалитета решења и брзине извршавања у односу на постојеће резултате из литературе.*

***Кључне речи:*** *Проблем p-центра, Робусна оптимизација, Метода променљивих околина*

***Abstract:*** *In this paper, the problem of the reliable p-center facility location problem (RpCFLP) is considered. Solving the problem involves initially establishing p resources and allocating users, as well as subsequent user reallocation according to emerging scenarios that include information about disabled resources and other modified input data. To solve the observed problem, a metaheuristic based on the Iterated Basic Variable Neighborhood Search (IBVNS) is proposed. The test results of the proposed metaheuristic indicate its efficiency in terms of solution quality and execution speed compared to existing results in the literature.*

***Keywords:*** *p-center problem, Robust optimization, Variable neighborhood search*

---

## 1. УВОД

Проблеми $p$ центра представљају класу локацијских проблема чији је циљ успостављање тачно $p$ ресурса и алоцирање корисника успостављеним ресурсима, тако да се минимизује максимално корисник-ресурс растојање. У пракси, ови проблеми налазе примену у ситуацијама у којима се сваки корисник сматра подједнако битним, као што је случај при лоцирању ресурса хитних служби (болница, полицијских станица, ватрогасних станица...). Одабир локација за успостављање ресурса представља дугорочну стратегијску одлуку. Може се десити да неки од ресурса који су успостављени, у случају природних катастрофа, протеста, терористичких напада и сличних ванредних ситуација, буду онеспособљени за употребу. Замена или оправка ових ресурса би изискивала велика новчана средства и пуно утрошеног времена. Стога би у фази моделирања и решавања многих локацијских проблема било пожељно узети у обзир овакве ситуације и направити поуздану мрежу ресурса и корисника. Односно, успоставити ресурсе и повезати их са корисницима, тако да и уз измене (онеспособљавање ресурса, промена у растојањима или захтевима корисника, као и другим улазним подацима), мрежа остане ефикасна.

У овом раду је разматран проблем $p$ -центра са поузданом мрежом (енгл. *Reliable p-center facility location problem – RpCFLP*). Решавање проблема подразумева иницијално успостављање $p$ ресурса и алокацију корисника, као и накнадну реалокацију корисника у складу са новонасталим сценаријима који садрже информације о онеспособљеним ресурсима и осталим измењеним улазним подацима.

Имајући у виду сложеност разматраног проблема и резултате добијене егзактним решавачем CPLEX 20.1.0 на инстанцама различитих димензија, може се закључити да егзактне методе не дају решења за инстанце проблема већих димензија (инстанце са 100 и више корисника и произвољним бројем сценарија, као и инстанце са више од 30 корисника које укључују преко 100 сценарија) услед меморијског или временског ограничења. Из тог разлога, предложена је метахеуристика за његово решавање, заснована на итеративној варијанти основне методе променљивих околина (енгл. *Iterated basic variable neighborhood search – IBVNS*), која у кратком времену извршавања обезбеђује квалитетна решења проблема. У оквиру овог рада приказани су упоредни резултати три егзактне методе из литературе, CPLEX решавача и IBVNS имплементације, за инстанце које садрже до 30 корисника и до 200 сценарија.

## 2. МАТЕМАТИЧКА ФОРМУЛАЦИЈА

У овом раду представљена је математичка формулација RpCFLP, предложена у [4], која користи следеће параметре:

- $I$ – скуп корисника;
- $J$ – скуп потенцијалних локација ресурса;
- $K$ – скуп сценарија;
- $p$ – број ресурса које треба успоставити;
- $c_{ij}$ – растојање од корисника $i \in I$ до ресурса $j \in J$, пре поремећаја;
- $d_i$ – захтеви/потражња корисника $i \in I$, пре поремећаја;
- $c_{ij}^{z}(k)$ – растојање од корисника $i \in I$ до ресурса $j \in J$, у сценарију $k \in K$;
- $d_i^{z}(k)$ – захтеви/потражња корисника $i \in I$, у сценарију $k \in K$;
- $a_j(k)$ – доступност потенцијалне локације ресурса $j \in J$ у сценарију $k \in K$, tj. $a_j(k) = 1,$ ако је локација $j \in J$ недоступна у сценарију $k \in K$, а $a_j(k) = 0$ иначе. Претпоставка је да важи $\sum_{j \in J} a_j(k) < p$;

као и следеће скупове променљивих:

- Бинарна променљива $y_j$ добија вредност 1 уколико је ресурс $j$ успостављен, а 0 иначе;
- Бинарна променљива $x_{ij}$ добија вредност 1 уколико је корисник $i$ додељен ресурсу $j$ (пре поремећаја), а 0 иначе;
- Бинарна променљива $w_{ijk}$ узима вредност 1 уколико је корисник $i$ додељен ресурсу $j$ у сценарију $k$, а 0 иначе.

Променљива $x_{ij}$ односи се на алокацију корисника у периоду у ком још није дошло до онеспособљења одређених ресурса, док се променљива $w_{ijk}$ односи на реалокације у оквиру сценарија поремећаја. Користећи претходну нотацију, RpCFLP се може формулисати као у [4], на следећи начин:

$$\min_{x,y} \alpha_1 L_1 + \alpha_2 Q(y) \tag{1}$$

при условима:

$$L_1 \geq \sum_{j \in J} c_{ij} d_i x_{ij} \qquad \forall i \in I, \tag{2}$$

$$\sum y_j = p, \tag{3}$$

$$x_{ij} \leq y_j \qquad \forall i \in I, j \in J, \tag{4}$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \qquad \forall i \in I, \tag{5}$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, j \in J, \tag{6}$$

где је $Q(y)$ дефинисано кроз други степен модела:

$$Q(y) = \max_{k \in K} \min_{w_k} L_2(k) \tag{7}$$

при условима:

$$L_2(k) \geq \sum_{j \in J} c_{ij}^2(k) d_i^2(k) w_{ijk} \qquad \forall i \in I \tag{8}$$

$$w_{ijk} \leq y_j \qquad \forall i \in I, j \in J, \tag{9}$$

$$w_{ijk} \leq 1 - a_j(k) \qquad \forall i \in I, j \in J, \tag{10}$$

$$\sum w_{ijk} = 1 \qquad \forall i \in I, \tag{11}$$

$$w_{ijk} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, j \in J \tag{12}$$

Функција циља (1) дефинисана је као тежинска сума максималног растојања између корисника и ресурса у првом степену модела (период пре поремећаја) означеног са $L_1$ и највећег од максималних растојања из свих сценарија другог степена модела (након што дође до онеспособљења неког ресурса) означеног са $Q(y)$, коју треба минимизовати. Постављање вредности за $L_1$ на максимално корисник-ресурс растојање у периоду пре поремећаја постиже се условом (2). Услов (3) указује да је успостављено тачно $p$ ресурса. Претпоставка је да важи $p \leq |J|$. Услови (4) и (5) обезбеђују да, у периоду пре поремећаја, корисници буду алоцирани само успостављеним ресурсима, као и да сваки корисник буде услужен од стране тачно једног ресурса, респективно. Типови променљивих $x_{ij}$ и $y_j$ су дефинисани условом (6). У другом степену модела, кроз услов (8) вредност за $L_2(k)$ поставља се на максимално растојање између успостављених ресурса и њима алоцираних корисника у $\kappa$ -том сценарију. Условима (9) и (10) обезбеђује се да корисници буду алоцирани само успостављеним ресурсима који су доступни у $k$ -том сценарију. Услов (11) гарантује да ће сваки корисник, у $k$ -том сценарију, бити услужен од стране тачно једног ресурса. Ограничење (12) указује на бинарну природу променљиве $w_{ijk}$ .

Приказана формулација RpCFLP се, по узору на поступак из [2], може трансформисати у тзв. једностепени модел на следећи начин:

$$\min_{x,y,w_k} \alpha_1 L_1 + \alpha_2 L_{\max}$$
(13)

при условима: (2) – (6), (8) – (12) и $L_{max} \geq L_2(k), \qquad \forall k \in K$ .

## 3. МЕТОДА ПРОМЕНЉИВИХ ОКОЛИНА ЗА RPCFLP

Метода промењљивих околина (енгл. *Variable Neighborhood Search – VNS*) је метахеуристика коју су 1997. године предложили Младеновић и Хансен у [6], за решавање проблема трговачког путника. Заснована је на идеји систематских промена околина током локалног претраживања и следеће три чињенице: локални минимум у односу на једну околину не мора бити и локални минимум у односу на неку другу околину, глобални минимум је локални минимум у односу на све околине и за већину проблема, локални минимуми у односу на различите околине су међусобно блиски. У зависности од тога да ли се наведене три чињенице користе детерминистички, стохастички или комбиновано, у литератури су предложене различите варијанте методе промењљивих околина (видети [5]).

У овом раду је предложена итеративна варијанта основне методе промењљивих околина (енг. *Iterated Basic Variable Neighborhood Search – IBVNS*) за решавање RpCFLP. Решење проблема се састоји од бинарног низа $x$ (који садржи информације о успостављеним ресурсима) дужине $|I|$ и целобројног низа *allocations*, дужине $|I|(|K|+1)$. Уколико $l$ -ти члан низа $x$ има вредност 1, то значи да је $l$ -ти ресурс успостављен. Очигледно, неопходно је да $x$ има тачно $p$ јединица. Низ *allocations* представља низ алокација. Првих $|I|$ чланова низа се односи на алокације пре поремећаја, док се преосталих $|I||K|$ чланова односе на алокације уз сценарије поремећаја. Целобројна вредност на $l$ -тој позицији овог низа, где је $l \leq |I|$, представља индекс ресурса којем је $l$ -ти корисник алоциран, у периоду пре поремећаја, док вредност на $(l+|I|k)$-тој позицији овог низа, $k \in |K|$, представља индекс ресурса којем је алоциран $l$ -ти корисник, у $k$ -том сценарију. У даљем тексту ће се под решењем проблема подразумевати низ $x$ , док ће уређени пар $(x, allocations$ ) чинити *комплетно решење*.

Функција циља за решење $x$ има вредност $\alpha_1 max_0 + \alpha_2 max_{S_c}$, $max_0 = \max_{i \in I} \min_{j \in J} \{c_{ij} d_i | x(j) = 1\}$, $max_{S_c} = max\{max_1, \dots max_{|K|}\}$ и $max_k = \max_{i \in I} \min_{j \in J} \left\{c_{ij}^{2}(k) d_i^{2}(k) \middle| a_j(k) = 0, x(j) = 1\right\}$. Уколико би се на овај начин рачунале вредности функције циља за свако потенцијално решење проблема, дошло би до понављања великог броја израчунавања. Да би се избегла непотребна понављања и уштедело време извршавања алгоритма, предложена је модификација алгоритма која користи структуру *saved.* Иницијално, цела структура *saved* је празна. У току решавања проблема, структура се допуњује подацима добијеним за свако ново решење и притом, подаци у структури се не бришу, већ се ажурирају. Прецизније, у оквиру структуре *saved* се за сваког корисника чува вредност растојања до њему најближе успостављеног ресурса у оквиру тренутно разматраног решења и бележи максимална вредност датих растојања, како за период пре поремећаја, тако и за сваки сценарио. Приликом преласка у ново решење одређени број ресурса се ослобађа, али и исто толико нових се успоставља. Уместо да се функција циља рачуна изнова, разматра се најпре да ли новоуспостављени ресурси и ресурси који су ослобођени мењају вредности у структури *saved.* Уколико то јесте случај, одговарајуће вредности се ажурирају и максимуми који фигуришу у функцији циља могу се добити директно из структуре *saved.*

Предложена IBVNS метода започиње претрагу од почетног решења $x_0$ које се добија тако што се сваки бит поставља на 0 или 1, при чему вероватноћа да бит узме вредност 1 износи 0.25 (ова вредност је одређена прелиминарним тестирањем). Притом се води рачуна да решење садржи тачно $p$ јединица. Уколико садржи мање, решење се по истом принципу допуњује. За тако добијено почетно решење се рачуна вредност функције циља и истовремено се иницијализује структура *saved.* На почетно решење $x_0$ примењује се BVNS, чиме се добија ново решење $x$ и врши се ажурирање структуре *saved.* Након тога, над решењем $x$ се итеративно примењују размрдавање, *nbShake* пута, и BVNS. Минимуми и максимуми у оквиру структуре *saved* прате тренутно разматрано решење. Међутим, уколико се у току једне итерације алгоритма не добије решење са мањом вредношћу функције циља у односу на решење од ког је итерација започела, наредна итерација почиње од решења од ког је започела претходна. Из тог разлога, пре уласка у прву итерацију, потребно је сачувати минимуме и максимуме из *saved* у $minsMaxes_{best}$, како би се на крају итерације поништиле начињене измене, уколико је то потребно. Такође се на крају сваке итерације ажурира $minsMaxes_{best}$ уколико је нађено боље решење. Фаза размрдавања подразумева замену тренутног решења са произвољно одабраним решењем из неке од околина. Околина $U_k(x), 1 \le k \le k_{\max}$□, представља скуп решења која се добијају од решења $x$, ослобађањем $k$ ресурса и успостављањем $k$ нових. У случају размрдавања које се одвија ван BVNS-а, решење се увек бира из околине $U_{k_l}(x)$, где $k_l$ представља један од параметара алгоритма. Локална претрага у оквиру BVNS-а функционише по принципу *l*-тог побољшања. Прецизније, у једној итерацији локалне претраге врши се произвољан одабир *l* решења из околине $U_1(x)$, решења *x*. Уколико је пронађено боље решење, *x* се ажурира. Критеријум заустављања за локалну претрагу представља одсуство бољег решења. Односно, уколико одабиром *l* решења из $U_1(x)$ није добијено квалитетније решење од *x*, локална претрага се прекида. У супротном се врши одабир нових *l* решења у околини новог најбољег решења. Као критеријум заустављања IBVNS-а узето је максимално време извршавања алгоритма.

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

IBVNS метахеуристика за решавање RpCFLP имплементирана је у програмском језику C++. Сва тестирања су извршена под Ubuntu 21.10 оперативним системом, у оквиру Dual Boot система, на рачунару са процесором Ryzen 5 3550H од 2.10 GHz и 8 GB RAM меморије. Експериментални резултати су добијени на инстанцама генерисаним на основу података добијених из [4]. Разматране су инстанце величина $|I| = |J| = \{10,20,30\}$ и $|K| = \{5,10,20,50,100,150,200\}$. За све инстанце, вредности IBVNS параметара су $k_{max} = 3$, $nbShake = 5$, $k_l = 3$, $l = 5$, док је максималан број итерација у оквиру BVNS методе постављен на 1000. Вредности свих параметара добијене су експерименталним путем.

**Табела 1**: Резултати тестирања IBVNS методе и поређење са резултатима из литературе

| | | IBVNS | | CPLEX | | | CC&G | | | BD | | | LIP | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| \|*I*\| | \|*K*\| | *t*(*s*) | *opt*(%) | *t*(*s*) | *opt*(%) | *gap*(%) | *t*(*s*) | *opt*(%) | *gap*(%) | *t*(*s*) | *opt*(%) | *gap*(%) | *t*(*s*) | *opt*(%) | *gap*(%) |
| 10 | 5 | 0.00 | 100.00 | 0.10 | 100.00 | | 0.05 | 100.00 | | 0.06 | 100.00 | | 0.03 | 100.00 | |
| | 10 | 0.01 | 100.00 | 0.14 | 100.00 | | 0.09 | 100.00 | | 0.09 | 100.00 | | 0.08 | 100.00 | |
| | 20 | 0.03 | 100.00 | 0.32 | 100.00 | | 0.23 | 100.00 | | 0.18 | 100.00 | | 0.29 | 100.00 | |
| | 50 | 0.04 | 100.00 | 0.90 | 100.00 | | 0.66 | 100.00 | | 0.39 | 100.00 | | 1.83 | 100.00 | |
| | 100 | 0.07 | 100.00 | 2.29 | 100.00 | | 1.29 | 100.00 | | 0.77 | 100.00 | | 3.22 | 100.00 | |
| | 150 | 0.07 | 100.00 | 3.26 | 100.00 | | 2.18 | 100.00 | | 1.45 | 100.00 | | 6.27 | 100.00 | |
| | 200 | 0.10 | 100.00 | 6.35 | 100.00 | | 2.96 | 100.00 | | 1.88 | 100.00 | | 9.77 | 100.00 | |
| 20 | 5 | 0.03 | 100.00 | 0.51 | 100.00 | | 0.36 | 100.00 | | 0.57 | 100.00 | | 0.21 | 100.00 | |
| | 10 | 0.09 | 100.00 | 1.36 | 100.00 | | 0.84 | 100.00 | | 0.94 | 100.00 | | 0.63 | 100.00 | |
| | 20 | 0.21 | 100.00 | 3.46 | 100.00 | | 2.14 | 100.00 | | 1.41 | 100.00 | | 2.24 | 100.00 | |
| | 50 | 0.42 | 100.00 | 12.39 | 100.00 | | 9.41 | 100.00 | | 4.21 | 100.00 | | 11.33 | 100.00 | |

|  |  | IBVNS |  | CPLEX |  |  | CC&G |  |  | BD |  |  | LIP |  |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | 100 | 0.76 | 100.00 | 51.96 | 100.00 |  | 23.04 | 100.00 |  | 7.62 | 100.00 |  | 45.11 | 100.00 |  |
|  | 150 | 2.69 | 100.00 | 235.31 | 100.00 |  | 30.39 | 95.56 | 7.50 | 16.31 | 100.00 |  | 83.97 | 95.56 | 24.55 |
|  | 200 | 2.30 | 100.00 | 490.96 | 82.22 | 28.31 | 33.23 | 86.67 | 11.61 | 23.51 | 100.00 |  | 119.78 | 86.67 | 16.78 |
| 30 | 5 | 0.26 | 100.00 | 1.31 | 100.00 |  | 1.31 | 100.00 |  | 2.41 | 100.00 |  | 0.82 | 100.00 |  |
|  | 10 | 0.58 | 100.00 | 3.29 | 100.00 |  | 4.84 | 100.00 |  | 5.01 | 100.00 |  | 3.46 | 100.00 |  |
|  | 20 | 0.55 | 100.00 | 11.85 | 100.00 |  | 34.45 | 100.00 |  | 17.41 | 100.00 |  | 22.52 | 100.00 |  |
|  | 50 | 3.46 | 100.00 | 72.36 | 100.00 |  | 69.31 | 73.33 | 7.79 | 49.68 | 97.78 | 5.22 | 116.31 | 93.33 | 13.26 |
|  | 100 | 8.53 | 100.00 | 364.86 | 93.33 | 34.6 | 83.99 | 35.56 | 21.07 | 99.73 | 88.89 | 26.04 | 187.71 | 44.44 | 50.13 |
|  | 150 | 20.17 | 100.00 | 892.01 | 75.56 | 44.98 | 86.00 | 35.56 | 28.42 | 89.71 | 62.22 | 20.78 | 187.43 | 15.56 | 59.41 |
|  | 200 | 22.46 | 100.00 | 575.98 | 23.33 | 42.44 | 45.49 | 35.56 | 31.04 | 85.78 | 46.67 | 26.52 | 202.41 | 13.33 | 55.23 |

У овом раду су приказани упоредни резултати три егзактне методе решавања RpCFLP проблема (CC&G, BD и LIP) изложени у [4], CPLEX 20.1.0 решавача и IBVNS имплементације, за $|I| < 40$. Као критеријум заустављања свих метода коришћено је максимално време извршавања, које је ограничено на 1000 секунди. У Табели 1, свака врста приказује резултате добијене на по 45 инстанци које имају исте вредности $|I|$ и $|K|$, а различите вредности за $p$ и $\alpha_1$. Притом, $\alpha_1 \in \{0.2, 0.5, 0.8\}$, $\alpha_2 = 1 - \alpha_1$, а за $p$ су узете целобројне вредности најближе вредностима $\frac{|I|}{5}$, $\frac{|I|}{4}$ и $\frac{|I|}{3}$ (осим у случају када је $|I| = 10$, када су за $p$ узете вредности 2, 3 и 4). Колоне $t(s)$ садрже просечна времена за које су методе успешно достигле оптимално решење (у секундама). У колонама $opt(\%)$ приказан је проценат инстанци (од 45) за које је проблем решен до оптималности. Квалитет резултата добијених предложеном IBVNS методом процењен је упоређивањем са оптималним решењима добијеним егзактним решавачем CPLEX[2]. У колонама $gap(\%)$, за егзактне методе, приказане су просечне gap вредности које представљају одступање између доње и горње границе, у случају када није постигнуто оптимално решење. Уколико се на свим инстанцама једне групе достигнуло оптимално решење, просечна gap вредност је нула (ћелија у табели је празна). Због разлике у платформама коришћеним за тестирање, а у циљу коректног поређења резултата CC&G, BD, LIP, CPLEX решавача и IBVNS метода, извршено је скалирање времена извршавања метода приказаних у [4]. Из резултата представљених у Табели 1, може се закључити да једино IBVNS метода налази сва оптимална решења, за најкраће време извршавања. Прецизније, просечно време налажења оптималних решења за IBVNS износи 2.99s, за CPLEX 130.05s, док су просечна времена налажења решења за CC&G, BD и LIP редом 20.58s, 19.48s и 47.88s.

## 5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду је разматран проблем $p$-центра са поузданом мрежном шемом. Егзактни решавач CPLEX 20.1.0 који користи математичку формулацију проблема не даје чак ни допустива решења за веће димензије проблема, што је и очекивано, имајући у виду да је разматрани проблем NP-тежак. Предложена итеративна варијанта основне методе променљивих околина (IBVNS) у кратком времену извршавања достиже сва оптимална решења на инстанцама мањих и средњих димензија и обезбеђује квалитетна решења на инстанцама проблема већих димензија. Штавише, у поређењу са резултатима три егзактне методе решавања RpCFLP проблема (CC&G, BD и LIP) изложених у [4] и резултатима добијеним CPLEX решавачем, IBVNS показује најбоље перформансе у смислу квалитета решења, као и времена извршавања алгоритма. Прецизније, на инстанцама које садрже до 30 корисника и највише 200 сценарија, једино IBVNS метода налази сва оптимална решења, за

---

[2] Време извршавања CPLEX решавача за потребе провере оптималности решења добијених IBVNS методом било је проширено на 7200 секунди, за сваку тестирану инстанцу.

најкраће време извршавања. Будућа истраживања могу укључити паралелизацију и хибридизацију предложене методе са другим хеуристикама за решавање овог или сличних локацијских проблема.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] An, Y., Zeng, B., Zhang, Y., and Zhao, L. (2014). Reliable p-median facility location problem: Two-stage robust models and algorithms. *Transportation Research Part B: Methodological*, 64, 54-72.

[2] Caunhye, A. M., Zhang, Y., Li, M., and Nie, X. (2016). A location-routing model for prepositioning and distributing emergency supplies. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 90, 161-176.

[3] Daskin, M. S. (2013). Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications. Wiley, 2nd edition.

[4] Du, B., Zhou, H., and Leus, R. (2020). A two-stage robust model for a reliable p-center facility location problem. *Applied Mathematical Modelling*, 77, 99-114.

[5] Hansen, P., Mladenović, N., and Moreno Pérez, J.A. (2010). Variable neighbourhood search: methods and applications. *Annals of Operations Research*, 175(1), 367-407.

[6] Mladenović, N. and Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. *Computers and Operations Research*, 24(11), 1097-1100.

[7] Snyder, L. V., and Daskin, M. S. (2005). Reliability models for facility location: The expected failure cost case. *Transportation Science*, 39(3), 400-416.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# ДВОКРИТЕРИЈУМСКИ УОПШТЕНИ ПРОБЛЕМ ПОСТАВЉАЊА РЕГЕНЕРАТОРА У ОПТИЧКИМ МРЕЖАМА

# BI-OBJECTIVE GENERALIZED REGENERATOR LOCATION PROBLEM

ЛАЗАР МРКЕЛА[1], ФИЛИП ВИДОЈЕВИЋ [2], ЗОРИЦА СТАНИМИРОВИЋ [2]

[1] Универзитет Метрополитан Београд, lazar.mrkela@metropolitan.ac.rs
[2] Универзитет у Београду - Математички факултет, filip.vidojevic@matf.bg.ac.rs,
zorica.stanimirovic@matf.bg.ac.rs

***Резиме:*** *У раду је предложен двокритеријумски уопштени прлоблем постављања регенератора у оптичким мрежама. Мотивација за овакву варијанту проблема потиче од проблема који се јавља приликом дизајнирања оптичких мрежа. Наиме, у пракси често није могуће повезати све крајње чворове (кориснике) оптичком мрежом при ограниченим буџетом. Имајући у виду да сви парови крајњих чворова немају исти приоритет, додељене су им различите тежине. Уведене су две функције циља, тако да се истовремено разматра минимизација трошкова постављања регенератора и максимизација збира тежина повезаних парова крајњих чворова. Проблем је решаван познатим еволутивним алгоритмима из литературе за вишекритеријумску оптимизацију који су прилагођени разматраном проблему. Перформасе алгоритама су упоређене на основу вредности стандардних метрика на скупу модификованих инстанци из литературе.*

***Кључне речи:*** *Уопштени проблем постављања регенератора, оптичке мреже, еволутивни алгоритми, вишекритеријумска оптимизација*

***Abstract:*** *This study considers the bi-objective generalized regenerator location problem in optical networks. The motivation behind the problem under consideration arises from limitations when designing an optical network. More precisely, it is often impossible to connect all end nodes (users) within a constrained budget. Having in mind that all end node pairs don't have equal priorities, different weights are assigned to them. Two objectives are introduced: minimizing the cost of deploying regenerators and maximizing the total weight of connected end node pairs. The problem is solved using well-known evolutionary algorithms from the literature for multi-objective optimization that are adapted for the considered problem. The performances of algorithms are compared based on the values of standard metrics on modified problem instances found in the literature.*

***Keywords:*** *Generalized regenerator location problem, optical networks, evolutionary algorithms, multi-objective optimization*

## 1. УВОД

Проблем оптималног постављања регенератора (енгл. *Regenerator Location Problem, RLP*) представља локацијски проблем који потиче из дизајна оптичких мрежа [5]. Наиме, у оптичким мрежама после неког растојања квалитет сигнала нагло опада, те је потребно инсталирати скупе уређаје (који се називају регенератори) чија је улога да опораве сигнал. Циљ је смањити број регенератора, а при томе очувати несметану комуникацију између свих датих парова крајњих корисника мреже. Код основне варијанте проблема, скуп потенцијалних локација за регенераторе и скуп локација крајњих корисника се поклапају, док се код уопштене варијанте проблема (енгл. *Generalized Regenerator Location Problem, GRLP*) ови скупови разликују [4]. Тежинска варијанта проблема (енгл. *Weighted Generalized Regenerator Location Problem, WGRLP*) укључује различите цене инсталације регенератора у зависности од локације, што више одговара реалној ситуацији [4]. Као и код основне варијанте проблема, циљ GRLP и WGRLP је смањити укупне трошкове постављања регенератора.

Имајући у виду да RLP и његова уопштења GRLP и WGRLP спадају у класу НП-тешких проблема [5], као и чињеницу да оптичке мреже укључују велики број чворова, методе засноване на хеуристичком приступу су природан избор за њихово решавање. У раду [5] предложене су три хеуристике за RLP, као и метод гранања и органичавања који је био успешан само на примерима мањих димензија. Аутори рада [7] су за решавање RLP предложили GRASP хеуристику и варијанту генетског алгоритима, који су касније модификовани и прилагођени за решавање GRLP у [11]. Две похлепне хеуристике и метода гранања и сечења су коришћене у раду [4] за решавање GRLP и WGRLP. У радовима [9, 10] примењене су различите варијанте методе променљивих околина за решавање WGRLP које су се показале успешним на инстанцама проблема реалних димезија.

Може се приметити да у случају ограниченог буџета, није увек могуће остварити комуникацију између свих крајњих корисника путем оптичке мреже. То је управо мотивација за увођење двокритеријимског GRLP модела који узима у обзир и трошкове инсталације (тј. трошкове постављања регенератора) и комуникацију парова крајњих корисника мреже. Како сви парови у пракси не морају да имају исти приоритет, за другу функцију циља узима се збир тежинских коефицијената повезаних парова крајњих чворова.

Вишекритеријумска варијанта GRLP није до сада изучавана. У литератури постоји неколико радова који се односе на проблем постављања регенератора у оптичким мрежама, који укључују две или више функција циља. Међутим, постојећи радови користе другачије моделе у односу на GRLP и уско су везани за специфичне технологије оптичких мрежа. Поред тога, разматрају само број регенератора који треба минимизовати, али не узимају у обзир разлике у цени постављања регенератора на различитим локацијама. На пример, у раду [2], аутори применом варијанте генетског алгоритма за вишекритеријумску оптимизацију NSGA-II оптимизују две функције циља: вероватноћу блокирања и укупан број регенератора. У раду [3] се оптимизују исте функције циља под претпоставком да је могуће инсталирати више регенератора на једној локацији. Трећи проблем, разматран у [13], укључује трошкове рутирања, број операција регенерације сигнала и број чворова који врше регенерацију. Резултујући математички модел је у [13] решаван програмирањем ограничења.

Доприноси овог рада су следећи. Дефинисана је двокритеријумска варијанта GRLP проблема која до сада није разматрана у литератури. У циљу решавања проблема, три постојећа еволутивна алгоритма за вишекритеријумску оптимизацију (NSGA-II, SPEA-II и SMS-EMOA) су прилагођена разматраном проблему. Прилагођени еволутивни алгоритми су примењени на тест примерима који су добијени модификацијом постојећих инстанци из литературе. Добијена решења су анализирана и упоређена коришћењем неколико познатих метрика.

## 2. ДВОКРИТЕРИЈУМСКИ GRLP

Дата је оптичка мрежа представљена графом $G = (V, E)$, где је $V$ скуп чворова, а $E$ скуп грана. Скуп $V$ чине два дисјунктна подскупа: скуп крајњих чворова $T$ и скуп потенцијалних локација за постављање регенератора S. Сваком пару крајњих чворова i, j $\in$ T придружена је тежина wij > 0, док је за сваки чвор s $\in$ S дата цена cs > 0 постављања регенератора. Стаза P између два чвора i, j $\in$ T дефинисана је као низ чворова i,$v_1$,…,$v_m$,j, где $v_1$,..,$v_m$ $\in$ V, при чему су свака два чвора у стази $P$ повезана граном. Дужина стазе $P$ се добија сумирањем дужина грана између парова суседних чворова у стази. Уколико је дужина стазе већа од унапред задатог параметра $d_{max} > 0$, сигнал не може бити пренесен дуж стазе без губитка квалитета, те регенератори морају бити постављени у једном или више унутрашњих чворова $v_1$, ..., $v_m$ стазе $P$.

Нека је $L \subseteq S$ скуп чворова на којима су постављени регенератори. Крајњи чворови $i, j \in T$ су повезани уколико постоји стаза $P = i, l_1, \ldots, l_m, j$, где $l_1, \ldots, l_m \in L$ која повезује та два чвора, тако да између свака два суседна чвора те стазе постоји стаза чија дужина није већа од $d_{max}$. То значи да се између свака суседна два чвора стазе $P$ сигнал може несметано пренети, а самим тим и између посматраног пара крајњих чворова $i$, $j$. У двокритеријумском GRLP уводимо две функције циља. Прва функција циља $f_1$ је сума трошкова $c_l$ постављања регенератора из скупа $L$. Друга функција циља $f_2$ се добија сабирањем тежина $w_{ij}$ по свим паровима повезаних крајњих чворова $i, j \in T$. За рачунање друге функције циља треба пронаћи који су парови крајњих чворова повезани након постављања регенератора и сабрати њихове тежине. Посматрамо истовремено два циља: минимизацију функције $f_1$ и максимизацију функције $f_2$.

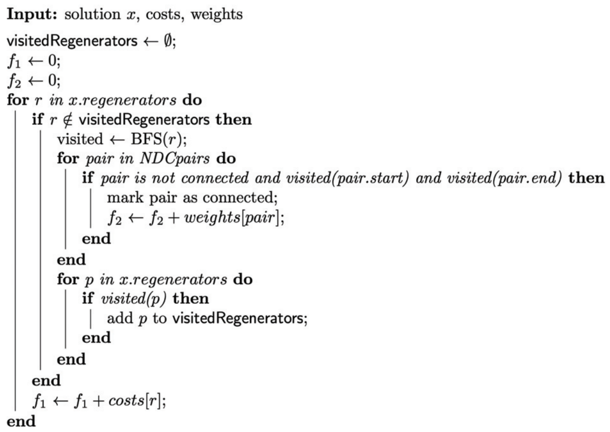
## 3. ЕВОЛУТИВНИ ПРИСТУП РЕШАВАЊУ ДВОКРИТЕРИЈУМСКОГ GRLP

За решавање разматраног проблема примењена су три позната еволутивна алгоритма из литературе који се користе у вишекритеријумској оптимизацији: NSGA-II [6], SPEA-II [14] и SMS-EMOA [1]. Сва три алгоритма имају сличну основну структуру која одговара концепту генетског алгоритма за једнокритеријумску оптимизацију.

Модификовани алгоритми NSGA-II, SPEA-II и SMS-EMOA за решавање двокритеријумског GRLP користе бинарни низ за репрезентацију решења, где је број елемената низа једнак броју потенцијалних локација за регенераторе: $r = n \times \left(1 - \frac{p}{100}\right)$, где је $n$ број чврова, а $p$ проценат крајњих чворова (корисника) у конкретном тест примеру. Решења почетне популације се генеришу на случајан начин. За свако решење се на случајан начин бира број $k$ $(0 \leq k \leq r)$, а затим се $k$ случајно изабраних битова у бинарној репрезентацији решења поставља на 1. Као оператор селекције се користи бинарна турнирска селекција. За оператор укрштања се користи једнопозиционо укрштање, док је се мутација реализује једноставном променом вредности изабраних битова са одређеном вероватноћом. Критеријум заустављања за сваки од NSGA-II, SPEA-II и SMS-EMOA алгоритама је достигнуто максимално CPU време. Основна разлика између ова три алгоритма је у начину избора решења за следећу итерацију (популацију решења) и начину рачунања прилагођености решења:

- *NSGA-II* - Решења популације се сортирају по недоминирајућим фронтовима и додељује им се ранг у зависности којем фронту припадају. Приликом селекције, решења се пореде по рангу и метрици гомилања (енгл. *crowding distance).*
- *SPEA-II* - Решење се оцењује на основу тога над колико других решења доминира и колико других решења доминира над њим. Поред тога, користи се и информација о густини суседних решења.
- *SMS-EMOA* - Код овог алгоритма се директно оптимизује хиперзапремина решења (енгл. *hypervolume, HV).* Оператор селекције комбинује *HV* и концепт недоминирајућег сортирања. Решења се пореде по рангу и доприносу вредности *HV.*

Основни корак у прилагођавању наведених алгоритама разматраном проблему јесте ефикасна евалуација решења. Прва функција циља се једноставно рачуна на основу цена постављених регенератора. За рачунање друге функције циља треба пронаћи који су парови повезани након постављања регенератора и сабрати њихове тежине. За ефикасну евалуацију решења у сва три еволутивна алгоритма користи се процедура заснована на претрази графа у ширину, која се покреће из сваког постављеног регенератора [10]. Претрага је ограничена и зауставља се када се дође до чвора који не садржи регенератор. Описани кораци евалуације решења приказани су као псеудокод на Слици 1.



```
Input: solution $x$, costs, weights
visitedRegenerators $\leftarrow \emptyset$;
$f_1 \leftarrow 0$;
$f_2 \leftarrow 0$;
for $r$ in x.regenerators do
    if $r \notin$ visitedRegenerators then
        visited $\leftarrow$ BFS($r$);
        for pair in NDCpairs do
            if pair is not connected and visited(pair.start) and visited(pair.end) then
                mark pair as connected;
                $f_2 \leftarrow f_2 + weights[pair]$;
            end
        end
        for $p$ in x.regenerators do
            if visited(p) then
                add $p$ to visitedRegenerators;
            end
        end
    end
    $f_1 \leftarrow f_1 + costs[r]$;
end
```

**Слика 1:** Псеудокод евалуације решења

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Сва три алгоритма су имплементирана у програмском језику Јава применом оквира *MOEA framework* [8]. Експерименти су извршени на рачунару са *Apple M1 Pro 3.1GHz* процесором и *16GB RAM* меморије. За експерименте су модификоване инстанце из скупова 2 и 4 из радова [4] и [9]. Димензије инстанце једне групе су одређене бројем чворова *n*, као и процентом чворова који представљају крајње чворове *p*. Инстанце су подељене на групе са ознаком n*(r)*, где је $r = n \times \left(1 - \frac{p}{100}\right)$, при чему свака група садржи по 10 инстанци. Инстанце су проширене тежинама за сваки пар крајњих чворова, при чему свака тежина узима случајну вредност из скупа $\{1,2,3,4,5\}$. Како се разлике између алгоритама јасније на инстанцама већих димензија, приказани су резултати за $n$ = 150 из скупа 2 и $n$ = 500 из скупа 4 за p ∈ {25,50,75} у процентима.

Параметри алгоритама су одређени прелиминарним експериментима. Критеријум заустављања је ограничено време извршавања на $\frac{n}{10}$ секунди. Величина популације је 100, вероватноћа мутације $\frac{2}{r}$, док је вероватноћа укрштања 0.9.

За поређење алгоритама могу да се користе различите метрике перформанси [12]. Како је прави Парето фронт непознат, користимо његову апроксимацију, где се референтни скуп рачуна на основу резултата свих алгоритама из свих покретања. Референтни скуп се даље користи за рачунање метрика перформанси. Користимо три познате метрике:

- HV (*Hypervolume*) - Величина простора решења над којим доминирају решења из апроксимативног скупа.
- IGD (*Inverted Generational Distance*) - Просечно растојање између решења из референтног скупа и најближег решења из апроксимативног скупа.
- EPS+ (*Additive Epsilon Indicator*) - Најмања вредност за коју треба транслирати апроксимативни скуп како би он доминирао над референтним.

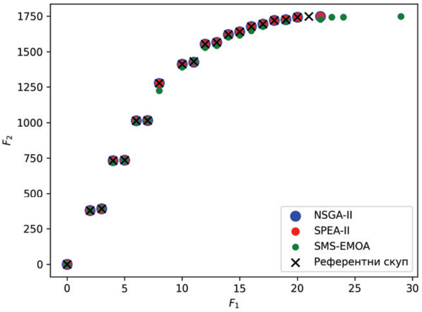
Сваки алгоритам је покретан на свакој инстанци 10 пута. За сваку метрику, приказане су средња вредност (*mean*) и стандарадна девијација (*std*) из 10 покретања. У Табели 1. су приказане просечне вредности ових резултата по групама инстанци, где су називи група у формату *n(r)*. Најбоље вредности метрика су приказане подебљано.

На основу резултата из Табеле 1. се види да су NSGA-II и SPEA-II постигли сличне резултате, док је SMS-EMOA алгоритам показао нешто слабије перформансе. У просеку, на свим инстанцама, SPEA-II даје нешто боље резултте у односу на NSGA-II, мада је ова разлика знатно мања него разлика у односу на SMS-EMOA алгоритам. Ниске вредности *std* указују на стабилност сва три алгоритма. Другачији резултати SMS-EMOA се могу објаснити селекцијом заснованом на *HV*, која се у случају разматраног проблема показала као прејака што може довести до тога се алгоритам заглави у локалном оптимуму. Поред тога, фокусирање на *HV* током претраге побољшава рашireност скупа, али може негативно да утиче на удаљеност решења од Парето оптималних.

**Табела 1:** Резултати и поређење NSGA-II, SPEA-II и SMS-EMOA за двокритеријумски GRLP

| **Група n(r)** | | **NSGA-II** | | | **SPEA-II** | | | **SMS-EMOA** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **HV** | **IGD** | **EPS+** | **HV** | **IGD** | **EPS+** | **HV** | **IGD** | **EPS+** |
| 150 (38) | mean | **0.7723** | 0.0006 | 0.0015 | **0.7723** | **0.0003** | **0.0005** | 0.7711 | 0.0038 | 0.0093 |
| | std | 0.0000 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0006 | 0.0011 | 0.0037 |
| 150 (75) | mean | 0.7472 | 0.0017 | 0.0070 | **0.7474** | **0.0010** | **0.0043** | 0.7430 | 0.0095 | 0.0282 |
| | std | 0.0009 | 0.0014 | 0.0059 | 0.0007 | 0.0008 | 0.0032 | 0.0021 | 0.0047 | 0.0128 |
| 150 (113) | mean | **0.6989** | **0.0018** | **0.0054** | 0.6982 | 0.0020 | 0.0077 | 0.6920 | 0.0118 | 0.0259 |
| | std | 0.0006 | 0.0009 | 0.0033 | 0.0013 | 0.0018 | 0.0061 | 0.0017 | 0.0022 | 0.0039 |
| 500 (125) | mean | 0.8102 | 0.0044 | **0.0105** | **0.8104** | **0.0034** | 0.0110 | 0.8077 | 0.0074 | 0.0168 |
| | std | 0.0008 | 0.0012 | 0.0025 | 0.0009 | 0.0011 | 0.0031 | 0.0012 | 0.0016 | 0.0035 |
| 500 (250) | mean | 0.7808 | 0.0060 | 0.0115 | **0.7812** | **0.0055** | **0.0107** | 0.7770 | 0.0118 | 0.0194 |
| | std | 0.0008 | 0.0017 | 0.0023 | 0.0014 | 0.0022 | 0.0033 | 0.0024 | 0.0024 | 0.0037 |
| 500 (375) | mean | 0.7103 | 0.0071 | 0.0178 | **0.7110** | **0.0058** | **0.0154** | 0.6780 | 0.0375 | 0.1106 |
| | std | 0.0019 | 0.0027 | 0.0075 | 0.0014 | 0.0026 | 0.0069 | 0.0187 | 0.0153 | 0.0492 |
| Просек | mean | 0.7533 | 0.0036 | 0.0089 | **0.7534** | **0.0030** | **0.0083** | 0.7448 | 0.0136 | 0.0350 |
| | std | 0.0008 | 0.0014 | 0.0036 | 0.0010 | 0.0014 | 0.0038 | 0.0044 | 0.0046 | 0.0128 |

Слични закључци следе и са Слике 2, где су приказана решења алгоритама за једну инстанцу из групе 150 (113). Приказано је једно решење из 10 покретања које има највећу вредност HV. Види се да се решења NSGA-II и SPEA-II поклапају, а одговарају и решењима референтног скупа, осим у једној крајње десној тачки. SMS-EMOA даје нека решења која имају мању вредност $F_2$ за исту вредност $F_1$. Поред тога, примећују се и решења са великом вредношћу $F_1$ над којим доминирају решења преостала два алгоритма. За инстанцу приказану на Слици 2, решење ($F_1$=21, $F_2$=1748), где су сви парови крајњих чворова повезани, одговара оптималном решењу исте инстанце оригиналног WGRLP са једном функцијом циља.



**Слика 2:** Решења алгоритама и референтни скуп за једну инстанцу из групе 150 (113)

## 5. ЗАКЉУЧАК

У овом раду разматран је нови двокритеријумски уопштени проблем постаљања регенератора у оптичким мрежама. Неопходно је истовремено минимизовати укупне трошкове инсталације регенератора и максимизовати збир тежина повезаних парова крајњих чворова. Три еволутивна алгоритма из литературе за вишекритеријумску оптимизацију (NSGA-II, SPEA-II и SMS-EMOA) су прилагођена за решавање разматраног проблема и упоређена на модификованим инстанцама са 150 и 500 чворова у мрежи и различитим процентима крајњих чворова. Сва три алгоритма су успешно решила проблем за кратко време, а при томе су NSGA-II и SPEA-II показали нешто боље перформансе у односу на SMS-EMOA. Будућа истраживања могу да укључе проширења модела, на пример са капацитетима грана и регенератора. Други правац истраживања може да буде решавање разматраног проблема другим метахеуристикама, као што је вишекритеријумска варијанта методе променљивих околина.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Beume, N., Naujoks, B., Emmerich, M. (2007). SMS-EMOA: Multiobjective selection based on dominated hypervolume. European Journal of Operational Research, 181(3), 1653-1669.

[2] Cavalcante, M. A., Pereira, H. A., Chaves, D. A., Almeida, R. C. (2018). Evolutionary multiobjective strategy for regenerator placement in elastic optical networks. IEEE Transactions on Communications, 66(8), 3583-3596.

[3] Chaves, D. A., Ayres, C. F., Carvalho, R. V., Pereira, H. A., Bastos-Filho, C. J., Martins-Filho, J. F. (2010). Multiobjective sparse regeneration placement algorithm in optical networks considering network performance and CAPEX. In 2010 12th International Conference on Transparent Optical Networks. IEEE.

[4] Chen, S., Ljubić, I., Raghavan, S. (2015). The generalized regenerator location problem. INFORMS Journal on Computing, 27(2), 204-220.

[5] Chen, S., Ljubić, I., Raghavan, S. (2010). The regenerator location problem. Networks, 55(3), 205-220.

[6] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., Meyarivan. T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6(2), 182–197.

[7] Duarte, A., Marti, R., Resende, M., Silva, R. (2014). Improved heuristics for the regenerator location problem. International Transactions in Operational Research 21(4), 541-558

[8] Hadka, D. (2019). MOEA framework: A free and open source java framework for multiobjective optimization. Available: http://moeaframework.org.

[9] Mrkela, L., Stanimirović, Z. (2019) Skewed Variable Neighborhood Search Method for the Weighted Generalized Regenerator Location Problem. Lecture Notes in Computer Science, 11328, 182-201.

[10] Mrkela, L. (2022). An Efficient Variable Neighborhood Search for Generalized Regenerator Location Problems. International Journal on Artificial Intelligence Tools, 31(05).

[11] Quintana, J., Sánchez-Oro, J., Duarte, A. (2016). Efficient greedy randomized adaptive search procedure for the generalized regenerator location problem. International Journal of Computational Intelligence Systems, 9(6), 1016-1027.

[12] Riquelme, N., Von Lücken, C., Baran, B. (2015). Performance metrics in multi-objective optimization. In 2015 Latin American Computing Conference (CLEI). IEEE.

[13] Rumley, S., Gaumier, C., Szymanek, R. (2011). Multi-objective optimization of regenerator placement using constraint programming. In 15th International Conference on Optical Network Design and Modeling-ONDM 2011 (pp. 1-6). IEEE.

[14] Zitzler, E., Laumanns, M., Thiele, L. (2001). SPEA2: improving the strength pareto evolutionary algorithm, Computer Engineering and Networks Laboratory (TIK), Technical Report, 103.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# UTILIZING METAHEURISTICS TO GUIDE THE TRAINING OF NEURAL NETWORKS

LUKA MATIJEVIĆ[1]

[1] Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts, luka@mi.sanu.ac.rs

---

***Abstract:*** *Neural networks (NN), have become increasingly popular due to their practical applications. NN training is a crucial stage in constructing a reliable model that can accurately predict data. The goal of NN training is to determine the best internal parameters to optimize the network's performance on test data, according to a specific metric. In this study, we explore the use of metaheuristics to guide the entire training process. Our approach involves identifying favorable areas of the search space and invoking an optimizer to intensify the search in these regions. To train NN, we implemented two metaheuristics, Variable Neighborhood Search (VNS) and the Memetic algorithm (MA), and measured their effectiveness using classification accuracy as an evaluation metric on publicly available classification datasets. The obtained results suggest that MA is able to outperform both VNS and traditional training methods.*

***Keywords:*** *Machine Learning, Combinatorial Optimization, Classification Accuracy, Variable Neighborhood Search, Memetic Algorithm*

---

## 1. INTRODUCTION

*Neural networks* (**NN**) [2, 6] are a well-known type of machine learning algorithm, inspired by the structure of the human brain. They consist of nodes (*neurons*), which process and distribute data across the network. Neurons are organized into layers (Figure 1), each layer taking the output of the previous layer as its input, processing it, and propagating the result to the next layer. Given their capacity for learning from new data and adapting to it, neural networks are particularly advantageous for tasks like audio and picture recognition, natural language processing, and prediction modeling. They have revolutionized fields such as computer vision, robotics, and autonomous vehicles, and are increasingly being applied to a wide range of industries and applications [1]. However, training neural networks can be computationally demanding due to the substantial amount of data needed for effective training.

In Figure 2, we show a generic representation of a neuron. Variables $x_i$ represent input data, $w_i$ are weights, $b$ is a bias, whereas $Y$ denotes the output of a neuron. The goal of the training process is to find values for $w_i$ and $b$ for each of the neurons in the network so that the overall performance of the network is maximized regarding some chosen metric.

The goal of this paper is to assess the possibility of guiding the training process by utilizing metaheuristics, for the purpose of obtaining a better accuracy of the network. More precisely, we will take a look at two different metaheuristics: *Variable Neighborhood Search* (**VNS**) and *Memetic algorithm* (**MA**). Although it is possible to train NN by directly applying some metaheuristics capable of global optimization to determine the optimal set of parameters (for example, a VNS-based global optimization method [4]), this study takes a different approach.

The structure of this paper is as follows. The conventional approach for NN training is presented in Section 2, while Section 3 elaborates on our VNS algorithm for guiding the NN training process. Our MA approach is introduced in Section 4. Section 5 details our experimental setup and the results obtained. Section 6 concludes the paper by discussing some of the issues associated with this approach and outlining possible areas for future research.

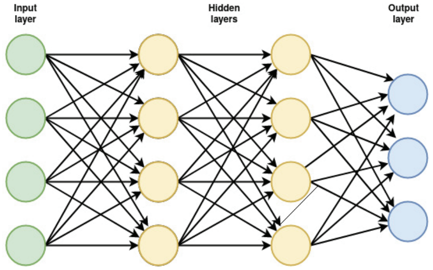


Figure 2: A generic representation of a neural network

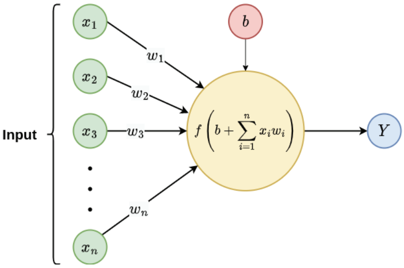


Figure 2: A generic representation of a neuron

## 2. NEURAL NETWORK TRAINING

Training neural networks involves feeding input data through the network and adjusting the weights and biases of the neurons in order to minimize the difference between the predicted output and the actual output (i.e. the *loss function*). A wide range of loss functions are available [12], and choosing the right loss function depends on the specific nature of the problem at hand. The optimization process typically involves the use of an *optimizer* algorithm, which adjusts the weights and biases of the network in small increments based on the gradient of the loss function. There are many different optimizers to choose from [3], most notably Adam, Gradient Descent, Stochastic Gradient Descent, Adamax, and many others. During training, the network is usually evaluated on a validation set (also known as testing set), allowing us to monitor its performance and prevent overfitting to the training data. Once training is complete, the network can be used to make predictions on new, unseen data. In Algorithm 1 we present a generic method for training neural networks. At first, we define a neural network by specifying layers of nodes and *activation functions* [11], and select an optimizer. We then create a loader, which is a component of the software pipeline responsible for loading and preprocessing data into a format that can be used by the neural network. Loaders are often used when dealing with large datasets, where it is not feasible to load all of the data into memory at once. Instead, the loader loads a batch of data into memory at a time, allowing the neural network to train on that batch before loading in the next one. This approach is known as minibatch training and is commonly used in deep learning. The core of the algorithm (Lines 6-11) involves training the model by using an optimizer and a loss function to update the neural network parameters. This process, which we refer to as *"Local Search"* in this paper, is also used as a subroutine in VNS and MA. Local Search is conducted over a fixed number of epochs, which refers to a single pass through the training dataset.

**Algorithm 1: General procedure for training a neural network**

```
1:  procedure TRAIN_NN($train\_ ata, test_{data}, num\_ pochs$ )
2:      $model \leftarrow defineNeuralNetwork(□)$
3:      $optimizer \leftarrow selectOptimizer(□)$
4:      $loader \leftarrow createLoader(train\_data)$
5:      for $i \leftarrow 1$ to $num\_ pochs$ do
6:          for $(features, targets) \in loader$ do
7:              $output \leftarrow model(features)$
8:              $loss \leftarrow lossFunction(outputs, targets)$
9:              $gradients \leftarrow calculateGradients(loss)$
10:             $updateWeightsAndBiases(gradients)$
11:         $accuracy \leftarrow evaluate(model, test\_data)$
12:     return $model$
```

## 3. VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH

Variable Neighborhood Search was first introduced by Mladenović and Hansen (1997) [9]. It comprises of three main steps: *shaking*, local *search*, and *move or not* procedure. The solution is represented as an array of values, where each value corresponds to a specific weight or bias. We obtain the initial solution by taking the initial values of each variable from our defined model. Our shaking procedure is presented in Algorithm 2. It basically chooses one variable at random in each step and then adds or removes the value of $\epsilon$ to/from it. The value of $\epsilon$ is a predetermined parameter of the algorithm. In general, the value of $\epsilon$ can be dynamically determined to better suit each solution component, although this specific aspect was not examined in the scope of this research. As a local search procedure, we call an optimizer with the perturbed solution as its starting point, providing it with the training data. After the optimizer completes its execution, we evaluate the obtained solution using the testing data. If the newly found solution is better than the incumbent solution, we accept it as the new incumbent solution. The main loop of the VNS algorithm follows the standard procedure, as described in Algorithm 3 presented by Matijević et al. [8]. In this basic version, the variables $k_{\min}$ and $k_{\max}$ represent the minimum and maximum values, respectively, of a variable called k. This k variable governs the size of the neighborhood at each iteration of the algorithm. More details about the VNS method can be found in a publication by Hansen et al. [5].

**Algorithm 2: Shaking procedure**

```
procedure SHAKE($k$ , $\epsilon$ , $solution$ )
    $i \leftarrow 1$
    for $i \leq k$ do
        $v \leftarrow chooseRandomVariable(solution)$
        $p \leftarrow uniformDistribution(0,1)$
        if $p < 0.5$ then
            $solution[v] \leftarrow solution[v] + \epsilon$
        else
            $solution[v] \leftarrow solution[v] - \epsilon$
        $i \leftarrow i + 1$
    return $solution$
```

## 4. MEMETIC ALGORITHM

A memetic algorithm is a type of evolutionary algorithm that combines principles of genetic algorithms with local search methods. It was first proposed by Moscato (1989) [10]. In MA, a population of candidate solutions undergoes a series of operations similar to those found in genetic algorithms, such as mutation and crossover, to produce new candidate solutions. However, in memetic algorithms, the local search is applied to the individuals in the population to improve their fitness before they are selected for breeding. This approach is utilized to better exploit the knowledge of the search space by taking advantage of the existing structures and patterns in the population. The use of local search also helps to prevent premature convergence, where the algorithm becomes stuck in a suboptimal solution.

In Algorithm 3, we present our own MA for guiding NN training. Likewise to VNS, solutions are encoded as arrays of values representing weights and biases. At first, the NN is defined (Line 2), and the initial population is created (Line 3). Generating the initial population is performed by taking the initial values of the variables in the defined model, and for each individual the shaking procedure is performed (Algorithm 2). The neighborhood size for each individual is determined at random, which combined with the stochastic nature of the shaking procedure guarantees the diversity of the population. After the initial population is generated, each individual is evaluated according to some evaluation metric (Line 4). Lines 5-12 represent the main part of the algorithm.

In each iteration, we find the best individual (according to the chosen metric) in our current population and improve it by applying an NN optimizer to it, as a form of local search (Line 7). It must be borne in mind that we only apply optimizer to the best individual in the population, not to all of them. This is done to improve performance by avoiding the optimization of non-promising solutions. Although we have not tested it, it could be beneficial to apply an optimizer to the n-best solutions instead of just one. Once the best individual has been improved by an optimizer, a predefined number of offspring is generated through the application of the CROSSOVER operator. The number of offspring produced is determined by the parameter *offspring_num*. Our approach employs a crossover operator that functions as follows: for each offspring, two individuals are randomly chosen and referred to as *parents*. Subsequently, for each variable in the solution, a value is randomly selected with an equal probability from one of the parents. After the offspring are generated, we subject each one to the MUTATION operator (Line 10), which entails applying the SHAKE procedure (Algorithm 2) with a probability determined by the parameter $m$ , after which the offspring is added to the population (Line 11). Additionally, the parameter $n_{\max}$ defines the maximum neighborhood size that can be utilized during the shaking procedure. Finally, the worst individuals are removed from the population (Line 12).

**Algorithm 3: Memetic algorithm**

```
1:  procedure MA($train\_data, test\_data, \epsilon, m, pop\_size, offspring\_num, n_{\max}$)
2:      $model \leftarrow defineModel()$
3:      $population \leftarrow INIT(pop_{size, model}, \epsilon)$
4:      $evaluate(population, test\_data)$
5:      while stopping criterion is not met do
6:          $best \leftarrow findBestIndividual(population)$
7:          $best \leftarrow localSearch(best, train\_data)$
8:          $offspring \leftarrow CROSSOVER(offspring\_num, population)$
9:          for $\forall o \in offspring$ do
10:             $o \leftarrow MUTATION(o, m, n_{max}, \epsilon)$
11:             $population \leftarrow population \cup o$
12:         $removeWorstIndividuals(offspring\_num, population)$
13:     return $findBestIndividual(population)$
```

## 5. EXPERIMENTAL EVALUATION

To perform experimental evaluation, we selected five benchmark datasets for the classification problem, publicly accessible at 'https://www.kaggle.com/datasets'. Each dataset was divided into a training and testing set of instances, with a 60:40 ratio. All methods were implemented using the Python programming language and the PyTorch framework for machine learning. For all three algorithms, we employed the *Adam optimizer* [7] and utilized the *Cross-Entropy Loss* function to optimize the neural network parameters during training. The experimental tests were conducted on a personal laptop featuring an Intel i7-10750H CPU and 32GB of RAM, operating on Ubuntu 20.04 OS. To showcase the consistency and reliability of the obtained results, we conducted the experiments 30 times, ensuring their stability.

To achieve the optimal results, it is crucial to meticulously choose the hyperparameters for our algorithms. In our study, we employed the iRace[3] package for the R programming language to statistically identify an optimal set of hyperparameters. With a budget of 5000 tests, the iRace package generated the following set of values: the learning rate and weight decay hyperparameters for the Adam optimizer were both set to 0.01, the $\epsilon$ value used in the shaking procedure was set to

---

[3] https://cran.r-project.org/web/packages/irace/readme/README.html

0.4884, while for VNS, we set $k_{\min}$ and $k_{\max}$ to 5 and 20 respectively. Finally, for MA, we set the mutation probability ($m$ ) to 0.1, number of offspring to 6, and the population size to 10.

As a stopping criterion for all three methods, we imposed a limit on the number of calls to the local search procedure, which we fixed at 200. While this limit may seem low for certain real-world applications, our primary objective was to showcase the advantages of our approach and encourage more attention from the research community. Additionally, with larger neural networks and datasets, even 200 calls can consume a considerable amount of computational resources.

Table 1 displays the results of our experiments. The first two columns provide details about the datasets used, including the name and number of instances. The third column presents the average accuracy achieved over 30 runs using the traditional neural network training method (as outlined in Algorithm 1), along with the standard deviation in parentheses. The final two columns show the results obtained using our proposed metaheuristics. As shown in the presented table, VNS outperformed the traditional method in four out of five cases, though the improvement was not significant in most cases. Conversely, MA exhibited superior performance in all the tested instances, surpassing both the traditional method and VNS.

**Table 1: The obtained results**

| **Dataset** | **Num. inst.** | **Traditional** | **VNS** | **MA** |
|---|---|---|---|---|
| Iris | 148 | 0.9744 (0.0102) | 0.8363 (0.1529) | **0.9904 (0.013)** |
| Star classification | 100000 | 0.7076 (0.0446) | 0.7149 (0.0432) | **0.8142 (0.0492)** |
| Wine quality | 6497 | 0.5322 (0.0539) | 0.5580 (0.0608) | **0.6249 (0.0518)** |
| Diabetes | 253680 | 0.8438 (0.0651) | 0.8517 (0.0668) | **0.8899 (0.0357)** |
| Driving | 6728 | 0.3878 (0.0675) | 0.4778 (0.0811) | **0.5417 (0.1137)** |

## 6. FINAL REMARKS

As demonstrated in the preceding section, MA-guided neural network training yielded models with superior accuracy compared to VNS-guided and traditional training methods. Nevertheless, there are certain problems that warrant more attention. Foremost among them is the fact that metaheuristics, especially MA, utilize significantly more memory, posing increasing challenges with the growth of neural network size. Secondly, determining optimal hyperparameter values presents a formidable challenge of its own. Although it is feasible to employ statistical tools to determine these parameters for smaller networks and datasets, their utility is not always viable when handling vast networks and datasets. Lastly, as metaheuristics are often stochastic in nature (though not universally), their output can rely heavily on the seed value of the random number generator.

This paper aimed at demonstrating the feasibility of metaheuristic-guided neural network training, but further research is necessary to fully explore its potential. Specifically, this approach should be tested on various network architectures and larger datasets to assess its effectiveness and scalability. Moreover, the genetic operators utilized in MA, including crossover, mutation, and selection, are rudimentary, and exploring more advanced operators could potentially yield even better solutions.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia, Agreement No. 451-03-47/2023-01/200029.

## REFERENCES

[1] Abiodun, O.I., Jantan, A., Omolara, A.E., Dada, K.V., Mohamed, N.A. and Arshad, H., 2018. State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey. Heliyon, 4(11), p.e00938.

[2] Aggarwal, C.C., 2018. Neural networks and deep learning. Springer, 10(978), p.3.

[3] Bottou, L., Curtis, F.E. and Nocedal, J., 2018. Optimization methods for large-scale machine learning. SIAM review, 60(2), pp.223-311.

[4] Drazić, M., Kovacevic-Vujcić, V., Cangalović, M. and Mladenović, N., 2006. Glob—a new VNS-based software for global optimization. Global optimization: from theory to implementation, pp.135-154.

[5] Hansen, P., Mladenović, N., Brimberg, J. and Pérez, J.A.M., 2019. Variable neighborhood search (pp. 57-97). Springer International Publishing.

[6] Hopfield, J.J., 1982. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proceedings of the national academy of sciences, 79(8), pp.2554-2558.

[7] Kingma, D.P. and Ba, J., 2014. Adam: A method for stochastic optimization. arXiv preprint arXiv:1412.6980.

[8] Matijević, L., Davidović, T., Ilin, V. and Pardalos, P., 2019. General Variable Neighborhood Search for Asymmetric Vehicle Routing Problem.

[9] Mladenović, N. and Hansen, P., 1997. Variable neighborhood search. Computers & operations research, 24(11), pp.1097-1100.

[10] Moscato, P., 1989. On evolution, search, optimization, genetic algorithms and martial arts: Towards memetic algorithms. Caltech concurrent computation program, C3P Report, 826(1989), p.37.

[11] Sharma, S., Sharma, S. and Athaiya, A., 2017. Activation functions in neural networks. Towards Data Sci, 6(12), pp.310-316.

[12] Wang, Q., Ma, Y., Zhao, K. and Tian, Y., 2020. A comprehensive survey of loss functions in machine learning. Annals of Data Science, pp.1-26.

МИНИСТАРСТВО ОДБРАНЕ
И ВОЈСКА СРБИЈЕ

50.
СИМПОЗИЈУМ
О ОПЕРАЦИОНИМ
ИСТРАЖИВАЊИМА
SYM-OP-IS 2023
Тара, 18–21. 9. 2023.

# OPTIMAL ADJUSTING OF SIMULATED ANNEALING PARAMETERS

HEMMAK ALLAOUA[1]

[1]Mohamed Boudiaf University of M'sila, Algeria, allaoua.hemmak@univ-msila.dz

---

**Abstract:** *Simulated annealing is a powerful technique widely used in optimization problems. One critical aspect of using simulated annealing effectively is the proper and optimal adjustment of its parameters. This paper presents a novel approach to efficiently adjust the parameters of simulated annealing to enhance its performance and convergence speed. The proposed work consists to properly imitate the metropolis cooling process on the algorithmic field. By intelligently adjusting the temperature schedule, temperature reduction and cooling rate, the algorithm optimizes the balance between exploration and exploitation, leading to improved convergence and higher-quality solutions. To evaluate the effectiveness of this approach, it was applied first on a chosen sample function to be minimized then on some usual known optimization functions. The results demonstrate that our approach, which we have called Optimal Adjusting of Simulated Annealing parameters (OASA), achieves encouraging performance.*

**Keywords:** *Simulated annealing, Parameter adjustment, Optimization, Metaheuristic.*

---

## 1. INTRODUCTION

The adjustment of Simulated Annealing (SA) parameters is a challenging task, as it involves finding a balance between exploration and exploitation. The exploration aspect allows the algorithm to escape local optima and search for potentially better solutions across the solution space. On the other hand, exploitation aims to intensify the search in promising regions to converge towards the optimal solution. Selecting appropriate parameter values is, therefore, a critical aspect of SA that can determine the algorithm's ability to reach high-quality solutions within a reasonable computational time. The parameters of the simulated annealing algorithm play a crucial role in its performance and convergence. These parameters include the initial and final temperature, cooling rate, and temperature reduction ratio. In this framework, we propose an approach called Optimal Adjusting of Simulated Annealing parameters (OASA) to contribute to the field of optimization by addressing the challenge of selecting appropriate parameters for the simulated annealing algorithm. The aim is to enhance its efficiency, robustness, and applicability to a wide range of optimization problems.

The rest of this paper is organized as follows: in Section 2 a short literature review is presented, Section 3 provides a brief overview of the Simulated Annealing algorithm and its key parameters. In Section 4, we describe our proposed approach of efficiently adjusting SA parameters. Section 5 gives a comparative analysis of the discussed approach based on empirical cases applications. Finally, Section 6 summarizes the findings and discusses future research directions.

## 2. RELATED WORK

Simulated Annealing (SA) is a powerful optimization algorithm introduced by Kirkpatrick, Gelatt, and Vecchi in [20]. Since its inception, SA has been widely applied to various combinatorial and continuous optimization problems [1,2,3,13,19] due to its ability to escape local optima by accepting uphill moves with a certain probability based on the Metropolis criterion. Nevertheless, the performance of SA is highly dependent on the careful selection of its tuning parameters.

To address the challenges of manual parameter tuning and to enhance the performance of simulated annealing, several adaptive and self-adjusting methods have been proposed [7,8,9,12,14]. In the work by Ingber [4,5], an Adaptive Simulated Annealing (ASA) approach was introduced, wherein the parameters are automatically adjusted during the optimization process based on the statistical analysis of the search space. ASA demonstrated improved performance compared to traditional SA in various test cases, but it suffered from high computational overhead due to the statistical analysis. Another avenue of research involves developing strategies for selecting the simulated annealing parameters based on problem characteristics [15,17]. Hu and Lim [21] proposed a method that calculates initial temperature and cooling rate according to the problem's objective function and constraints. Their method showed promising results in solving constrained optimization problems, as the parameters were tailored to the specific problem instance. Some researchers have employed heuristic approaches to find near-optimal parameter configurations for simulated annealing [4,11,14,15].

Comparative studies have been conducted to evaluate the effectiveness of different parameter tuning methods for simulated annealing [10,16]. Jones and Forbes [22] compared various optimization algorithms, including SA, with different parameter configurations on a set of benchmark functions. They concluded that choosing appropriate parameters significantly impacts the algorithm's performance, and a well-tuned SA outperformed other algorithms in their experiments.

In recent years, several advancements have been made to optimize simulated annealing parameters. Wang et al., [3,8,14] introduced a novel adaptive simulated annealing algorithm based on machine learning. Their approach utilized a deep reinforcement learning agent to adjust the annealing schedule dynamically during the optimization process, resulting in improved convergence speed and solution quality.

## 3. SIMULATED ANNEALING ALGORITHM OVERVIEW

Basic algorithm of Simulated Annealing could be summarized as follow:

```
SA_ALGO(search space S)
Read problem input data
Choose SA parameters:
    initial temperature $T_{max}$ ; // crystalline (melt) state temperature
    final temperature $T_{min}$ ;  //   amorphous state temperature
    annealing scale ;   // annealing time at temperature $t_i$
    temperature reduction ratio ($r \approx 1$)
Define objective function f to be optimized
Define neighborhood function N ;
    Generate random initial solution $x_0$ uniformly from S
    Take optimal solution $x^* = x_0$
    Initialize temperature $t = T_{max}$
    Main loop:
    While $t > T_{min}$
  For j=1 to k (annealing rate)
  generate random neighbor x1of the current solution x0 : x1∈N(x0)
    if $x_1$ is better than $x_0$ then
    accept x1 ($x_0=x_1$)
    if $x_1$ better than x* then update x*($x^*=x_1$)
    else accept $x_1$ with the metropolis probability (if random(0,1)<exp(-Δf/t) then $x_0=x_1$)
  ($\Delta f = |f(x_1)-f(x_0)|$, it's the energy variation that allow to move the metal atoms)
  end for
  reduce t ($t = r*t$)
```

```
    end while
    output (x*, f(x*))
endSA_ALGO.
```

SA algorithm is considered as local search approach where it was developed as improvement for the descent method where we accept only the better solutions. This process leads in most cases to local optimum especially when the objective has a significant number of local optima. Therefore. SA came to avoid this situation by accepting some degradation of the fitness function by simulating the metropolis cooling process. Thus, SA has proved its efficiency in many more situations. However, the bad adjustment of SA parameters could considerably affect its effectiveness in terms of solution quality and processing time.

## 4. OPTIMAL ADJUSTING SA PARAMETERS

Adjusting SA parameters consists to look for the optimal values that deal to good solution in reasonable processing time of each of the following parameters:

- initial (maximal) temperature $T_{max}$ (to reach melting state of the metal);
- temperature reduction function r defined as $t_{i+1} = r(t_i)$ ;
- cooling rate, that is the annealing time $c(t_i)$ (number of iterations) at the temperature $t_i$.
- neighborhood exploration process that allow to compute a neighbor $x(t_i)$ of the state $x_0$ at the temperature $t_i$.

Since SA is inspired from the metropolis process probability, we need to adjust its parameters regarding the variation of the real function g such as $g(t) = e^{\frac{-d}{t}}$ with the real positive variable t and the positive parameter d (t represents the temperature and d represents the fitness variation Δf)the function g whose sample curve is represented by the figure 1 below:

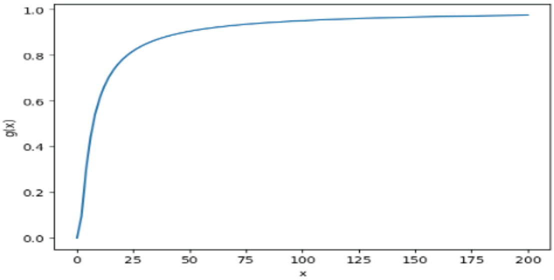


**Figure 3:**Curve of g(t) = exp(-d/t) for t>0, d>0.

By interpreting this curve in the SA algorithm semantic, it shows clearly that:

- SA starts as random search and terminate as descent algorithm;
- In order to explore the search space uniformilly, we need to computed$_{mean}$ as the mean of a sufficient sample of Δf by generating m random solutions. Then, Tmax and Tmin are computed such as :
  - $\exp(-d_{mean}/T_{max}) = \alpha$, $\alpha \approx 1$ , $\alpha < 1$ and $\exp(-d_{mean}/T_{min}) = \beta$ , $\beta \approx 0$ , $\beta > 0$
  - (for instance: we take $\alpha=0.99$ and $\beta= 0.0001$).
  - The algorithm below shows how $d_{mean}$, $T_{min}$, $T_{max}$ are computed:
  - Compute_Tmin_Tmax

```
s =0
For i=1 to m
    a = random(S)
    b = random(S)
    s = s+|f(a)-f(b)|
```

```
6. end for
7. $d_{mean}$= s/m
8. $T_{max} = -d_{mean} /\log \alpha$
9. $T_{min} = -d_{mean} /\log \beta$
```

- The sample size m must be adjusted according the problem input size (for instance, in travelling salesman problem of n cities, we could take m=5*n , m=10*n,... then we look for a compromize beteweem the processing time and the solution qulity. Therefore, the complexity of this algorrithm is linear.
- To optimally use the intensification and diversification mecanismes, the temperature reduction must be largeat the beginning then it decreases progressivly. The best way to realize this variation isto define the reduction function r as geometric sequence with variable base $r_i$ as following : $r_{i+1} = a*r_i$ and $t_{i+1} = r_{i+1}*t_i$ , where a is a positive real such as $r_0 \approx 1$, $r_i < 1$, $a \approx 1$ , $a>1$.

## 5. APPLICATION OF OASA

In order to show the efficiency of our approach, we have applied it to minimize the function:

$f(x) = 4 - 19.0167x + 36.39167x^2 - 25.2917x^3 + 8.041667x^4 - 1.19167x^5 + 0.066667x^6$ which was a sample study in Michel Bierlaire's Algorithm (MBA) [21]. This function has two local optima $x_1 = 0.4052$, $x_2 = 3.1045$ and one global optimum $x^* = 5.5541$ as shown in the figure 2 bellow:

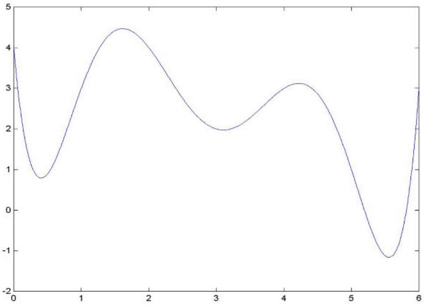


**Figure 2:** Graphical representation of the sample function f.

The table below gives the parameters values used in our OASA and in MBA :

**Table 1:** Parameters values.

| Parameters | In OASA | MBA |
|---|---|---|
| Initial solution $x_0$ | 3 | 3 |
| Initial temperature $T_{max}$ | Adjusted | 10000 |
| Final temperature $T_{min}$ | Adjusted | Not specified |
| Reduction factor | Adjusted | 0.9 |
| Annealing rate | 10 | 100 |
| Neighborhood of x | [x-0.1,x+0.1] | [x-0.1,x+0.1] |

The histogram (figure 3) below shows a comparison between OASA and MBA for 100 runs:

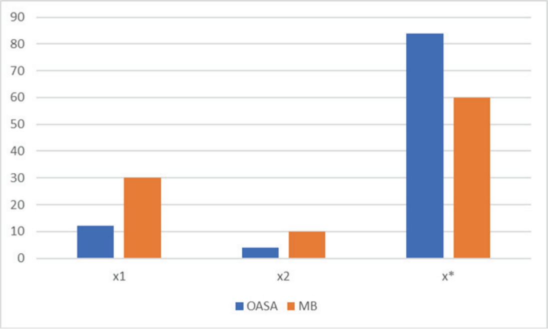


**Figure 3:** Results for 100 runs.

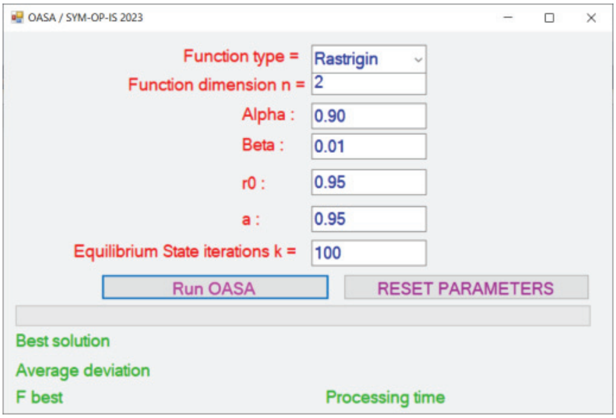
This graph shows clearly that adjusting parameters prove a significant efficiency in terms of both solution quality and time processing.

In the second part of our comparative study, we have applied our approach on three usual optimization functions to be minimized with dimension n:

- Rastrigin function: $Rastrigin(x) = 10n + \sum_{i=1}^{n}[x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i)]$, $x_i \in [-5.12,5.12]$. There are many extrema. The global minimum is $Rastrigin(0) = 0$ .
- Rosenbrock function: $Rosenbrock(x) = \sum_{i=1}^{n-1} \square$ , $x_i \in R.$ There are many extrema. the global minimum is $Rosenbrock(1,1,\ldots,1) = 0$ .
- Sphere function: $Sphere(x) = \sum_{i=1}^{n} x_i^2$ . $x_i \in [-5.12,5.12]$. The global minimum is $Sphere(0) = 0$ .

Where n is the dimension of the function.

For this purpose, we have implemented the software interface illustrated in the figure 4 below:



OASA / SYM-OP-IS 2023

Function type = Rastrigin
Function dimension n = 2
Alpha : 0.90
Beta : 0.01
r0 : 0.95
a : 0.95
Equilibrium State iterations k = 100

**Figure 4:** Interface of the approach implementation.

The table below summarize the deviation ρ = $|F(x_{opt}) - F(x^{\square})|$ where $F(x_{opt})$ is the global minimum of F and $F(x^{\square})$ is the obtained minimum usimg our approach OASA for different values of the dimension n:

**Table 2:** Results for optimization functions.

| Dimension n | Function F | Deviationρ |
|---|---|---|
| 2 | Rastrigin | 0.00000 |
| | Rosenbrock | 0.00000 |
| | Sphere | 0.00000 |
| 5 | Rastrigin | 0.00000 |
| | Rosenbrock | 0.0006 |
| | Sphere | 0.0010 |
| 20 | Rastrigin | 0.0037 |
| | Rosenbrock | 0.0041 |
| | Sphere | 0.0050 |
| 50 | Rastrigin | 0.0040 |
| | Rosenbrock | 0.0062 |
| | Sphere | 0.0059 |

It is clear that the deviation and the processing time crow with the dimension of the function.

## 6. CONCLUSION

In this paper, we have addressed the critical issue of optimizing the performance of the Simulated Annealing (SA) algorithm through the optimal adjustment of its parameters. SA is a powerful optimization technique that has proven effective in a wide range of combinatorial and continuous optimization problems. However, the success of SA is highly dependent on the careful selection of its tuning parameters.

Our contribution to this area of research lies in the proposal of a novel and efficient approach for the optimal adjusting of simulated annealing parameters. Leveraging machine learning techniques, specifically deep reinforcement learning, we designed an adaptive simulated annealing algorithm that dynamically adjusts the annealing schedule during the optimization process. This approach showed remarkable improvements in convergence speed and solution quality, but investigation of a real power of this approach will be a part of future work.

## REFERENCE

[1] Bertsimas, D., & Tsitsiklis, J. N. (1993). Simulated Annealing. Statistical Science, 8(1), 10-15.

[2] Chou, J. S., & Chang, Y. H. (2021). Efficient simulated annealing with a bijective mapping function for global optimization. Applied Soft Computing, 98, 106966.

[3] Fu, W., & Wang, L. (2004). An efficient simulated annealing algorithm for job shop scheduling. International Journal of Production Research, 42(6), 1083-1096.

[4] Ingber, L. (2000). Adaptive simulated annealing (ASA): Lessons learned. Control and Cybernetics, 29(4), 723-748.

[5] Ingber, L. (2015). Very fast simulated re-annealing. Mathematical and Computer Modelling, 12(8-9), 967-973.

[6] Javanainen, J., & Seitz, W. R. (1991). Efficient adjusting of simulated annealing parameters. Journal of Chemical Physics, 94(5), 3810-3817.

[7] Li, J., Zhou, X., & Cheng, C. (2018). An efficient hybrid optimization algorithm combining simulated annealing with differential evolution for continuous optimization problems. Journal of Global Optimization, 70(2), 439-460.

[8] Liu, C., Wang, L., & Liu, C. (2014). An efficient adaptive simulated annealing algorithm for multi-objective vehicle routing problem with time windows. Applied Soft Computing, 24, 1017-1027.

[9] Maric, D., & Özcan, E. (2018). Efficient simulated annealing parameter tuning for protein folding optimization. Applied Soft Computing, 64, 155-166.

[10] Mathieu, J. L., & Snyman, J. A. (2001). A new parameter selection technique for the simulated annealing optimization algorithm. European Journal of Operational Research, 135(1), 87-101.

[11] Rao, J., & Angra, S. (2016). A novel approach for adaptive parameter tuning of simulated annealing using fuzzy logic control. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 55, 1-16.

[12] Ross, P. (2014). Using efficient simulated annealing to optimize digital circuits. In Proceedings of the 2014 on Genetic and Evolutionary Computation Conference (pp. 1-8).

[13] Shamseldin, A. Y. (2007). Efficiency enhancement of simulated annealing optimization. Journal of Computing in Civil Engineering, 21(6), 427-434.

[14] Shi, X., Zhang, X., & Wang, Y. (2020). An efficient hybrid optimization algorithm combining simulated annealing with particle swarm optimization for feature selection. Applied Soft Computing, 88, 106002.

[15] Suman, B., & Pardalos, P. M. (2007). Simulated Annealing: A Proof of Optimality. Journal of Global Optimization, 39(3), 419-428.

[16] Suman, B., & Rattan, K. S. (2017). A modified simulated annealing algorithm for solving flexible job shop scheduling problems. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 89(1-4), 431-444.

[17] Yadav, A., & Pal, S. K. (2019). An efficient simulated annealing algorithm for data clustering. In Proceedings of the 2019 11th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (pp. 199-203).

[18] Yin, M., Bai, R., & Zhan, Z. H. (2014). An adaptive parameter control for simulated annealing using particle swarm optimization. Information Sciences, 278, 598-611.

[19] Michel Bierlaire. Introduction à l'optimisation différentiable. Presses polytechniques et universitaires romandes, 2006. 7, 11.

[20] Kirkpatrick S., Gelatt C. D., Vecchi M. P. Optimization by Simulated Annealing. Science, New Series, Vol. 220, No. 4598. (May 13, 1983), pp. 671-680.

[21] Hu, Qian & Lim, Andrew, 2014. "An iterative three-component heuristic for the team orienteering problem with time windows," European Journal of Operational Research, Elsevier, vol. 232(2), pages 276-286.

[22] Jones, A.E.W. and Forbes, G.W. An adaptive simulated annealing algorithm for global optimization over continuous variables. Journal of Global Optimization, 6: 1–37.

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

519.8(082)

**СИМПОЗИЈУМ о операционим истраживањима (50 ; 2023 ; Тара)**
Зборник радова / 50. Симпозијум о операционим истраживањима SYM-OP-IS 2023, Тара, 18–21. септембар 2023. ; уредници Дејан Стојковић, Далибор Петровић, Срђан Димић ; [организатори Министарство одбране Републике Србије ... [и др.]]. - Београд : Медија центар „Одбрана”, 2023 (Београд : Војна штампарија). – 1070 стр. : илустр. ; 23 cm. – (Библиотека Војна књига ; књ. бр. 2588. Едиција Зборници)

Радови на срп. и енгл. језику. – Текст ћир. и лат. – Тираж 50. – Стр. 9-10: Предговор / уредници = Preface / editors. – Напомене и библиографске референце уз радове. – Библиографија уз све радове. – Abstracts.

ISBN 978-86-335-0836-0

а) Операциона истраживања – Зборници

COBISS.SR-ID 123891721

ISBN 978-86-335-0836-0