Академија
техничко-васпитачких
струковних студија

STEPS
CONFERENCE
Synergy of Technology,
Education, Pedagogy and Science

ЗБОРНИК РАДОВА
PROCEEDINGS

ПРВА КОНФЕРЕНЦИЈА
FIRST CONFERENCE

СИНЕРГИЈА ТЕХНОЛОГИЈЕ, ЕДУКАЦИЈЕ, ПЕДАГОГИЈЕ И НАУКЕ

SYNERGY OF TECHNOLOGY, EDUCATION, PEDAGOGY AND SCIENCE - STEPS

АКАДЕМИЈА ТЕХНИЧКО-ВАСПИТАЧКИХ СТРУКОВНИХ СТУДИЈА

НИШ

Прва конференција

Синергија Технологије, Едукације, Педагогије и Наука

First Conference

Synergy of Technology, Education, Pedagogy and Science - STEPS

ЗБОРНИК РАДОВА / PROCEEDINGS

Будва

27 – 30. септембар 2025. / September 27 – 30. 2025.

ЗБОРНИК РАДОВА

Прва конференција

Синергија Технологије, Едукације, Педагогије и Наука - СТЕПС

Издавач:

Академија техничко-васпитачких струковних студија Ниш

Тел: (018) 588 210

Мејл: info@akademijanis.edu.rs

https://www.akademijanis.edu.rs

Уредници:

Никола Секуловић

Никола Вукотић

Техничка обрада:

Дуња Стојановић

Ана Ћирић

Милена Николић

Корице:

VTŠ Apps Team Production

Умножава:

Академија техничко-васпитачких струковних студија Ниш

Електронско издање

ISBN:

978-86-81912-28-7

ПРЕДГОВОР

Организација прве научно-стручне конференције STEPS 2025 (Synergy of Technology, Education, Pedagogy and Science) у кратком року, уз више од стотину пријављених апстраката и скоро 90% изложених резултата и након рецензије прихваћених радова захтевала је квалитетан, организован и мотивисан тим са јасним циљевима.

Вођени идејом да је знање једино богатство које се дељењем увећава, са поносом делимо са вама зборник радова са конференције STEPS 2025, одржане у Будви од 27. до 30. септембра 2025. године. Организатор је била Академија техничко васпитачких струковних студија са седиштем у Нишу, која је препознала значај стручног и научног усавршавања и понудила концепт који је, поред презентације радова и дискусије, укључивао и едукативна предавања и радионице за запослене.

Досадашњи зборници Академије, иако са квалитетним и рецензираним радовима, нису могли да буду категорисани. Формирањем репрезентативног програмског одбора, именовањем главног и одговорног уредника, као и осам уредника тематских области, подигнут је квалитет и створени су услови да конференција буде препозната као домаћа конференција (М63). По речима уредника тематских области, ниво радова је подигнут за око 20 до 30 одсто у односу на претходне зборнике.

Преко електронског система, посебно развијеног за STEPS конференцију, пријављено је 102 проширена апстракта. Након излагања, слања радова у пуном облику и анонимне стручне рецензије, у овом зборнику налази се 86 радова. Програм је био организован у осам тематских области, а радови су селектовани и презентовани кроз 14 сесија. Посебан значај конференцији дала су и предавања на отварању – др Милан Банић који је говорио о примени вештачке интелигенције у образовању, др Милан Ранђеловић који је презентовао иновациони екосистем и планове за будући развој у региону, док је др Миливоје Радовић представио начине и потенцијал регионалног умрежавања у високом образовању.

У организационом смислу, конференција је одговорила свим изазовима. Учесници су анонимном анкетом (оцене 1–5) оценили организацију просечном оценом 4,78 од максималних 5. Овај резултат је плод рада свих наставника, сарадника и ненаставног особља.

Већина аутора радова долази са наше Академије. Један од циљева наредне конференције биће веће учешће аутора са других високошколских установа и из привреде, као и јачање сарадње са другим институцијама. Поред научно стручних радова, конференција је имала и стручно едукативни део – укупно је одржано седам предавања и радионица.

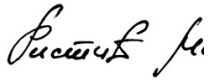
На крају, желимо да упутимо посебну захвалност главном и одговорном уреднику др Николи Секуловићу, који је формирао тим уредника, пратио процес пријаве, рецензије и објављивања. У организационом делу захваљујемо др Славимиру Стошовићу, Николи Вукотићу, др Немањи Петровићу, др Милану Павловићу, др Даници Милошевић и Милици Младеновић, као и свим колегама који су пружили организациону и програмску подршку конференцији али и уређивању овог зборника.

Надамо се да ће вам овај зборник бити добра основа и подстицај за нова истраживања. Конференција STEPS била је први степеник на путу унапређења квалитета Академије.

STEPS 2026 Вас радосно очекује!

Ниш, март 2026. године

председник организационог одбора STEPS 2025



Др Милош Ристић, професор струковних студија

Програмски одбор Конференције

Др Душан Радосављеђ, Академија техничко-васпитачких струковних студија

Др Никола Секуловић, Академија техничко-васпитачких струковних студија

Проф. др Момир Прашчевић, Факултет заштите на раду, Универзитет у Нишу

Проф. др Дарко Михајлов, Факултет заштите на раду, Универзитет у Нишу

Проф. др Ана Бијелић, Факултет заштите на раду, Универзитет у Нишу

Проф. др Веско Луковац, Војна Академија, Универзитет Одбране

Проф. др Павле Гладовић, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду

Проф. др Владимир Ћирић, Електронски факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Златица Маринковић, Електронски факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Горан Јаневски, Машински факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Дејан Митровић, Машински факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Милан Банић, Машински факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Иван Ћирић, Машински факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Милош Симоновић, Машински факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Александар Кековић, Грађевинско-архитектонски факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Милан Танић, Грађевинско-архитектонски факултет, Универзитет у Нишу

Доц. др Славиша Кондић, Грађевинско-архитектонски факултет, Универзитет у Нишу

Доц. др Ненад Стојковић, Грађевинско-архитектонски факултет, Универзитет у Нишу

Организациони одбор Конференције

Др Александра Маринковић

Др Биљана Милутиновић

Др Бранислав Станисављевић

Др Даница Милошевић

Др Драгана Драгутиновић

Др Душан Стефановић

Др Иван Стаменковић

Др Јелена Вељковић Мекић

Др Јелена Марковић

Др Лидија Стаменковић

Др Наталија Петровић

Др Наташа Богдановић

Др Немања Петровић

Др Милан Павловић

Др Милан Станковић

Др Милица Станковић

Др Милица Цветковић

Др Милош Ристић

Др Мирјана Станковић Ђорђевић

Др Петар Ђекић

Др Сандра Станковић

Др Славимир Стошовић

Мр Виолета Стојановић

Горан Милосављевић

Милан Ристић

Милица Младеновић

Михајло Мирковић

Никола Вукотић

Никола Милутиновић

Силвана Богићевић

Стефан Михајловић

ПРЕДГОВОР

Организација прве научно-стручне конференције STEPS 2025 (Synergy of Technology, Education, Pedagogy and Science) у кратком року, уз више од стотину пријављених апстраката и скоро 90% изложених резултата и након рецензије прихваћених радова захтевала је квалитетан, организован и мотивисан тим са јасним циљевима.

Вођени идејом да је знање једино богатство које се дељењем увећава, са поносом делимо са вама зборник радова са конференције STEPS 2025, одржане у Будви од 27. до 30. септембра 2025. године. Организатор је била Академија техничко васпитачких струковних студија са седиштем у Нишу, која је препознала значај стручног и научног усавршавања и понудила концепт који је, поред презентације радова и дискусије, укључивао и едукативна предавања и радионице за запослене.

Досадашњи зборници Академије, иако са квалитетним и рецензираним радовима, нису могли да буду категорисани. Формирањем репрезентативног програмског одбора, именовањем главног и одговорног уредника, као и осам уредника тематских области, подигнут је квалитет и створени су услови да конференција буде препозната као домаћа конференција (М63). По речима уредника тематских области, ниво радова је подигнут за око 20 до 30 одсто у односу на претходне зборнике.

Преко електронског система, посебно развијеног за STEPS конференцију, пријављено је 102 проширена апстракта. Након излагања, слања радова у пуном облику и анонимне стручне рецензије, у овом зборнику налази се 86 радова. Програм је био организован у осам тематских области, а радови су селектовани и презентовани кроз 14 сесија. Посебан значај конференцији дала су и предавања на отварању – др Милан Банић који је говорио о примени вештачке интелигенције у образовању, др Милан Ранђеловић који је презентовао иновациони екосистем и планове за будући развој у региону, док је др Миливоје Радовић представио начине и потенцијал регионалног умрежавања у високом образовању.

У организационом смислу, конференција је одговорила свим изазовима. Учесници су анонимном анкетом (оцене 1–5) оценили организацију просечном оценом 4,78 од максималних 5. Овај резултат је плод рада свих наставника, сарадника и ненаставног особља.

Већина аутора радова долази са наше Академије. Један од циљева наредне конференције биће веће учешће аутора са других високошколских установа и из привреде, као и јачање сарадње са другим институцијама. Поред научно стручних радова, конференција је имала и стручно едукативни део – укупно је одржано седам предавања и радионица.

На крају, желимо да упутимо посебну захвалност главном и одговорном уреднику др Николи Секуловићу, који је формирао тим уредника, пратио процес пријаве, рецензије и објављивања. У организационом делу захваљујемо др Славимиру Стошовићу, Николи Вукотићу, др Немањи Петровићу, др Милану Павловићу, др Даници Милошевић и Милици Младеновић, као и свим колегама који су пружили организациону и програмску подршку конференцији али и уређивању овог зборника.

Надамо се да ће вам овај зборник бити добра основа и подстицај за нова истраживања. Конференција STEPS била је први степеник на путу унапређења квалитета Академије.

STEPS 2026 Вас радосно очекује!

Ниш, март 2026. године

председник организационог одбора STEPS 2025



Др Милош Ристић, професор струковних студија

Програмски одбор Конференције

Др Никола Секуловић, Академија техничко-васпитачких струковних студија

Др Душан Радосављеђ, Академија техничко-васпитачких струковних студија

Проф. др Момир Прашчевић, Факултет заштите на раду, Универзитет у Нишу

Проф. др Дарко Михајлов, Факултет заштите на раду, Универзитет у Нишу

Проф. др Ана Бијелић, Факултет заштите на раду, Универзитет у Нишу

Проф. др Веско Луковац, Војна Академија, Универзитет Одбране

Проф. др Павле Гладовић, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду

Проф. др Владимир Ћирић, Електронски факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Златица Маринковић, Електронски факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Горан Јаневски, Машински факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Дејан Митровић, Машински факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Милан Банић, Машински факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Иван Ћирић, Машински факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Милош Симоновић, Машински факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Александар Кековић, Грађевинско-архитектонски факултет, Универзитет у Нишу

Проф. др Милан Танић, Грађевинско-архитектонски факултет, Универзитет у Нишу

Доц. др Славиша Кондић, Грађевинско-архитектонски факултет, Универзитет у Нишу

Доц. др Ненад Стојковић, Грађевинско-архитектонски факултет, Универзитет у Нишу

Организациони одбор Конференције

Др Милош Ристић

Др Славимир Стошовић

Никола Вукотић

Др Немања Петровић

Др Милан Павловић

Горан Милосављевић

Др Александра Маринковић

Др Биљана Милутиновић

Др Бранислав Станисављевић

Др Даница Милошевић

Др Драгана Драгутиновић

Др Душан Стефановић

Др Иван Стаменковић

Др Јелена Вељковић Мекић

Др Јелена Марковић

Др Лидија Стаменковић

Др Милан Станковић

Др Милица Станковић

Др Милица Цветковић

Др Мирјана Станковић Ђорђевић

Др Наталија Петровић

Др Наташа Богдановић

Др Петар Ћекић

Др Сандра Станковић

Милан Ристић

Милица Младеновић

Михајло Мирковић

Мр Виолета Стојановић

Никола Милутиновић

Силвана Богићевић

Стефан Михајловић

САДРЖАЈ

Друштвено-хуманистичке науке и Уметност

UTICAJ EKSPLICITNE I IMPLICITNE NASTAVE GRAMATIKE NA POSTIGNUĆA STUDENATA ENGLESKOG JEZIKA STRUKE....1

Maja Stanojević Gocić

УТИЦАЈ ФРАНЦУСКИХ ДЕЧЈИХ ПЕСМИЦА (COMPTINES) НА ФОНЕТСКУ ПЕРЦЕПЦИЈУ И ВОКАБУЛАР У ПРЕДШКОЛСКОМ УЗРАСТУ....5

Ивица Панић

BARIJERE U KOMUNIKACIJI I MEHANIZMI ZA NJIHOVO PREVAZILAŽENJE, DA SE BOLJE RAZUMEMO....9

Mirjana Marković

АФЕКТИВНА ВЕЗАНОСТ АДОЛЕСЦЕНАТА КАО ПРЕДИКТОР ФОРМАЛНООПЕРАЦИОНАЛНОГ МИШЉЕЊА....13

Жана Живковић Ранчић

КОМУНИЦИРАМ, ДАКЛЕ ПОСТОЈИМ....16

Марија Боранијашевић

САВРЕМЕНА ПРИЧА ЗА ДЕЦУ У ФУНКЦИЈИ РАЗВОЈА КРЕАТИВНОСТИ....20

Јелена Вељковић Мекић

ULOGA MODALA U KOMUNIKACIJI ČOVEK–VEŠTAČKA INTELIGENCIJA U SAVREMENIM DISTOPIJSKIM NARATIVIMA: ANALIZA PRIPOVEDAKA „THE PERFECT MATCH", „BETTER LIVING THROUGH ALGORITHMS" I „REAL ARTISTS"....24

Sanja Petrović

ДИГИТАЛНИ МЕДИЈИ – ИЗАЗОВИ РАНОГ ДЕТИЊСТВА....28

Петра Јанковић

TRANSLATING ENGLISH WITH DIGITAL TOOLS: IN BETWEEN ARTIFICIALITY AND ACCURACY....32

Danica Milošević

LIKOVI ANIMIRANIH FILMOVA KAO MODELI VREDNOSTI U PERCEPCIJI DECE PREDŠKOLSKOG UZRASTA....36

Vera Virijević Mitrović

TELODATA, UMETNIČKE PRAKSE I MEDICINSKE PROCEDURE....40

Dragana Dragutinović

PRIMENA GENERATIVNE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U RAZVOJU POČETNIH MATEMATIČKIH POJMOVA KOD DECE PREDŠKOLSKOG UZRASTA....44

Valentina Kostić, Tanja Sekulić i Petra Janković

PRAVO I VEŠTAČKA INTELIGENCIJA U EU I PRAVNI OKVIR ZA VEŠTAČKU INTELIGENCIJU U REPUBLICI SRBIJI..48

Andrej Mitić

PRAVA ZAPOSLENIH U VISOKOM OBRAZOVANJU PRILIKOM ODLASKA NA VANTELESNU OPLODNJU....51

Aleksandar Petković

AKTUELNI PROBLEMI MENTALNOG ZDRAVLJA MLADIH....55
Mirjana Stanković Đorđević

Економија и Менаџмент

ANALIZA I ISTRAŽIVANJE ZADOVOLJSTVA POTROŠAČA ONLAJN KUPOVINOM....59
Dragana Đurić

POREZ NA DIGITALNE USLUGE KAO NOVI IZVOR JAVNIH PRIHODA....63
Tiana Anđelković

DIGITALNA EKONOMIJA KAO POKRETAČ INOVACIJA I RASTA SA POSEBNIM OSVRTOM NA PREDUZETNIŠTVO U SRBIJI....67
Ljiljana Stošić Mihajlović

DIGITALNA EKONOMIJA: TRENDOVI, IZAZOVI I PERSPEKTIVE RAZVOJA SA FOKUSOM NA SRBIJU....71
Branislav Stanisavljević

KREATIVNE CIRKULARNE PRAKSE U REPUBLICI SRBIJI: EMPIRIJSKA ANALIZA U KONTEKSTU CIRKULARNE EKONOMIJE....75
Milica Stanković

UTICAJ VEŠTAČKE INTELIGENCIJE NA TRANSFORMACIJU TRŽIŠTA RADA I KONKURENTNOST MALIH I SREDNJIH PREDUZEĆA U GLOBALNOJ EKONOMIJI....79
Suzana Stojković

Интердисциплинарне и друге релевантне научне области

ODRŽIVI STIL ŽIVOTA U FUNKCIJI PROMOCIJE ZDRAVLJA I EKONOMSKOG RASTA: ANALIZA PERCEPCIJA I PRAKSI U REPUBLICI SRBIJI....83
Gordana Mrdak

IZMEĐU DVA KONCEPTA: SLIKARSKE VIZIJE U ARHITEKTURI....86
Bojana Nikolić

PRIMENA DSC METODE U ODREĐIVANJU KINETIČKIH PARAMETARA OKSIDA- CIJE I TERMOOKSIDATIVNE STABILNOSTI ULJA SEMENA SUSAMA U FUNKCIJI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE....90
Milan Đorić

SAVREMENO LEČENJE OPEKOTINSKIH POVREDA....94
Srđan Denčić

STRATEGIJE ZA PODSTICANJE MOTIVACIJE ZA ČITANJEM U ŠKOLAMA....98
Anđelina Stefanović

OBRAZOVANJE U POSTMODERNIZMU....102
Tatjana Marković

ULOGA MATEMATIČKOG RAZMIŠLJANJA U PROGRAMIRANJU: LOGIČKA I FUNKCIONALNA PARADIGMA....106
Dunja Stojanović

A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF LANGUAGE BARRIERS IN CIVIL ENGINEERING PROJECTS....109
Danijela Miloradović Stojković

HOLISTIČKA PARADIGMA I RANO DETINJSTVO – PEDAGOŠKE PERSPEKTIVE U KONTEKSTU SAVREMENOSTI ...113
Milan Miljković

RODITELJI SA POSEBNIM POTREBAMA ...116
Ivan Stamenković

ANALIZA PODATAKA U EDUKACIJI STUDENATA PRIMENOM SOFTVERA „STATISTICA“ ...119
Milica Cvetković

Информационо - комуникационе технологије

DETEKTOVANJE EMOCIONALNIH STANJA TIPA NORMAL I LJUTNJA ANALIZOM GOVORA U 2D I 3D PROSTORU PRIMENOM ANN ...123
Zoran Milivojević

GOLANG IN MICROSERVICES: A PRAGRAMTIC APPROACH TO SCALABLE AND MAINTAINABLE SYSTEMS ...127
Milan Tančić

INTEGRACIJA MULTIMODALNIH MODELA MAŠINSKOG UČENJA ZA PREDIKCIJU ZADOVOLJSTVA KORISNIKA HOTELSKIH USLUGA ...131
Milena Nikolić

MINIFIKACIJA CSS I JAVASCRIPT FAJLOVA U OKVIRU GREEN CODING PRINCIPA ...135
Dejan Blagojević

APPLICATION 7-BIT FLOATING-POINT QAUANTIZATION FOR EFFICIENT MULTIMODAL EMOTION RECOGNITION ...139
Zoran Perić

ODRŽIVI VEB DIZAJN I OPTIMIZACIJA KORISNIČKOG ISKUSTVA ...143
Ana Ćirić

IZRAČUNAVANJE ZONE BEZBEDNOSTI OD ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA METEOROLOŠKOG RADARA AVIONA NA STAJANCI ...147
Nataša J. Bogdanović

BLOCKCHAIN-ENHANCED DISTRIBUTED CONTROL NETWORK: A SECURE ARCHITECTURE FOR INDUSTRIAL AUTOMATION ...151
Zoran Milić

OZNAČAVANJE AI-GENERISANOG MULTIMEDIJALNOG SADRŽAJA VODENIM ŽIGOM ...155
Marko Veličković

KARAKTERISTIKE SILAZNOG LINKA NOMA SISTEMA U SLUČAJU UPARIVANJA KORISNIKA PRIMENOM DUBOKOG HIBRIDNOG MODELA ...159
Nikola Sekulović

TEMPERATURNA KOMPENZACIJA SENZORA PRITISKA MPS20N0040D ...163
Milan Savić

5G-ADVANCED: TEMELJI, KLJUČNE INOVACIJE I PUT PREMA 6G ...166
Nikola Milutinović

ДИНАМИКА ПРОСЕЧНЕ СНАГЕ РЕАЛНИХ ГОВОРНИХ СИГНАЛА 170
Горан Петковић

RAZVOJ SISTEMA ZA PREDIKCIJU VREDNOSTI KRIPTOVALUTA PRIMENOM MODELA VREMENSKIH SERIJA 174
Miloš Stojanović

KOMPARATIVNA ANALIZA METAHEURISTIČKIH METODA ZA POBOLJŠANJE KONTRASTA SLIKE 178
Nataša Savić

DIPFEJK U SAJBER BEZBEDNOSTI 182
Milan Ristić

UPOREDNA ANALIZA HASH FUNKCIJA U KONTEKSTU ETHERCHANNEL LOAD BALANCING-A 186
Dušan Stefanović

AUTOMATIZOVANI PYTHON FRAMEWORK ZA WEB SCRAPING I ANALITIKU PODATAKA 188
Slavimir Stošović

VEB PLATFORMA ZA KOLABORACIJU AGILNIH PROJEKTNIH TIMOVA 192
Nikola Vukotić

Саобраћајно инжењерство

METODOLOŠKI OKVIR ZA PAMETNU SVETLOSNU SIGANLIZACIJU 196
Bratislav Lukić

ANALIZA STANJA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA U PČINJSKOM OKRUGU 200
Miodrag Đorđević

METODOLOGIJA ODREĐIVANJA OPTIMALNOG BROJA TAKSI MESTA ZA STACIONIRANJE TAKSI VOZILA U TOKU RADA 204
Jovan Mišić

KOMPARATIVNA ANALIZA ODVIJANJA SAOBRAĆAJA NA TROKRAKIM RASKRSNICAMA U GRADU NIŠU 208
Stefan Mihajlović

ZNAČAJ REGIONALNE INTEGRACIJE SISTEMA JAVNOG PREVOZA PUTNIKA U KONTEKSTU ODRŽIVE URBANE MOBILNOSTI 211
Stefan Đorđević

PRIMENA ELEKTRIČNIH VOZILA I NJIHOV UTICAJ NA E-MOBILNOST 215
Milan Stanković

ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI PRIMENE TEORIJE IZVOĐENJA RADNJI VOZI-LOM U SAOBRAĆAJU U POSTUPKU VEŠTAČENJA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA 219
Dejan Bogićević

Грађевинско инжењерство и Архитектура

ZAŠTITA FUNDIRANIH STUBOVA U REČNOM KORITU 223
Danijela Zlatković

INTEGRATIVNI PRISTUPI UPRAVLJANJU OTPADOM GRADNJE I RUŠENJA: KOMPARATIVNA ANALIZA MEĐUNARODNIH STUDIJA SLUČAJA I METODOLOŠKIH PRISTUPA 227

Milan Protić

ŽEŽELJEV MOST NA DUNAVU: PRIMER INOVATIVNE MOSTOGRADNJE I INŽENJERSKOG NASLEĐA 231

Dušan Kocić

ANTITEZA PRAVEDNOJ I EKOLOŠKOJ TRANZICIJI – INTERPRETACIJA GRADITELJSKOG NASLEĐA U IZGRADNJI SMEŠTAJNIH KOMPLEKSA ZA MASOVNI TURIZAM 235

Aleksandra Marinković

INSTITUCIJA ARHITEKTONSKIH KONKURSA - ZNAČAJNI UTICAJNI FAKTOR U RAZVOJU POSLERATNE STAMBENE VIŠEPORODIČNE ARHITEKTURE NA PROSTORU BIVŠE JUGOSLAVIJE 239

Marjan Petrović

PREGLED SAVREMENIH PRISTUPA U PREDVIĐANJU POPLAVA KORIŠĆENJEM GIS TEHNOLOGIJE, MAŠINSKOG UČENJA I DALJINSKOG ISTRAŽIVANJA 243

Jelica Protić

Машинско и Индустријско инжењерство

INOVATIVNI PRISTUP UNAPREĐENJU MODELA ODRŽAVANJA PREDTURBINSKOG KUGLASTOG ZATVARAČA 246

Biljana Milutinović

METODA SEČENJA KERAMIKE VODENIM MLAZOM – PRINCIPI I PRIMENA 250

Milica Janković

METODOLOGIJA 3D SKENIRANJA 254

Gordana Jović

RAZVOJ PLANETARNOG PRENOSNIKA ZA VUČNO VITLO WARN 9.5XP 258

Miloš Stevanović

PRIMENA CNC GLODANJA U PROIZVODNJI ČEPA OD MEDIJAPANA 262

Milan Nikolić

KONCEPTUALNI DIZAJN U RAZVOJU PROIZVODA ELEKTRIČNE BICIKLE 265

Miloš Ristić

ANALIZA UTICAJA CAD-STL I CAD-OBJ KONVERZIJE NA DIMENZIJE PROIZVODA IZRAĐENOG TEHNOLOGIJOM 3D ŠTAMPE 269

Milan Pavlović

ANALIZA PRIMENE SAVREMENIH MERNIH UREĐAJA U MAŠINSTVU NA PRIMERU KLJUNASTOG POMIČNOG MERILA 273

Petar Đekić

MATEMATIČKI PROBLEMI NESTACIONARNE TOPLOTNE KONDUKCIJE U POLARNO-CILINDRIČNOM KOORDINATNOM SISTEMU 277

Luka Marinović

UTICAJ BRZINE POMOĆNOG KRETANJA NA KVALITET REZA BUKOVIH TRUPACA PRI REZANJU TRAČNOM TESTEROM 281

Damjan Stanojević

Заштита животне средине, Екологија и Заштита на раду

PRIMENA MODELA ZASNOVANIH NA VNM ZA PREDVIĐANJE KONCENTRACIJE Pb U FRAKCIJI PM10 SUSPENDOVANIH ČESTICA 285

Lidija Stamenković

PRAĆENJE EFIKASNOSTI UPRAVLJANJA ZAŠTIĆENIM PODRUČJIMA U CILJU OSTVARIVANJA CILJEVA ODRŽIVOG RAZVOJA 289

Jovana Džoljić

MONITORING AZOTNIH OKSIDA U GRADU VRANJU 293

Gordana Bogdanović

UTICAJ pH I REDOKS POTENCIJALA (Eh) NA MOBILNOST METALA U SISTEMU SEDIMENT/VODA 296

Ljiljana Đorđević

TECHNOLOGICAL PROCESS FOR PRODUCING THE SPECIAL CRAFT BEER "ALE STOUT FRAPPE" – PILOT PROJECT 300

Srđan Tasić

TEMPORALNA ANALIZA PROCESA U TELU DEPONIJE: OSNOVA ZA OPTIMIZACIJU MONITORINGA 304

Natalija Petrović

MODEL PROCENE KONCENTRACIJE PLAVOG UGLJENIKA U BOKOKOTORSKOM ZALIVU U USLOVIMA KLIMATSKIH PROMENA 308

Aleksandra Boričić

IZAZOVI I PREDNOSTI USPOSTAVLJANJA SAVREMENOG SISTEMA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA: STUDIJA SLUČAJA GRADA NIŠA 312

Sandra Stanković

BUDUĆNOST TERMIČKIH TRETMANA OTPADA U SRBIJI 315

Boban Cvetanović

UPRAVLJANJE KOMUNALNIM OTPADOM NA DEPONIJI „METERIS" U VRANJU 318

Jelena Marković

SMANJENJE UTICAJA EMISIJE OTPADNIH VODA I KORIŠĆENJE ENERGIJE BIOGASA NA DEPONIJI „BUBANJ" U NIŠU 322

Anica Milošević

TERMODINAMIČKA EFIKASNOST KORIŠĆENJA DEPONIJSKOG GASA NA DEPONIJI U NIŠU 326

Matija Milošević

KVANTITATIVNI UVID U AKUSTIČKU PERCEPCIJU PROSTORA POMOĆU REGRESIONE ANALIZE JASNOĆE GOVORA 329

Violeta Stojanović

INTEGRISANI RIZIK OD ŠUMSKIH POŽARA U NIŠAVSKOM OKRUGU 333

Nemanja Petrović

UTICAJ EKSPLICITNE I IMPLICITNE NASTAVE GRAMATIKE NA POSTIGNUĆA STUDENATA ENGLESKOG JEZIKA STRUKE

THE IMPACT OF EXPLICIT AND IMPLICIT GRAMMAR INSTRUCTION ON ESP STUDENTS' ATTAINMENTS

Maja Stanojević Gocić

Sadržaj – Ova studija istražuje efikasnost implicitnih i eksplicitnih metoda učenja gramatike engleskog jezika struke. Istraživanje je sprovedeno za tri različite grupe studenata, pri čemu je svaka grupa bila izložena drugačijem pristupu nastavi. Prva grupa je radila isključivo po principima eksplicitne nastave gramatike, koja se zasnivala na direktnom objašnjavanju gramatičkih pravila, metajezičkim objašnjenjima i kontrolisanim vežbama. Druga grupa je učila gramatiku implicitno, putem izlaganja jeziku u kontekstu (kroz komunikativne zadatke, razumevanje pročitanog i slušanje) bez direktnog objašnjavanja pravila. Treća grupa je imala kombinovani, hibridni pristup, koji je spajao eksplicitne i implicitne metode s ciljem da se postigne odgovarajući balans: poznavanje gramatičkih pravila, s jedne strane, i njihove upotrebe u realnim jezičkim situacijama. Studija je trajala četiri nedelje, nakon čega su sve tri grupe testirane pomoću testova čiji je fokus bio na poznavanju gramatike. Rezultati su pokazali da su sve grupe ostvarile napredak, ali je treća grupa, koja je primenjivala kombinovani pristup, pokazala značajno bolje rezultate u pogledu gramatičkih postignuća i ukupnih jezičkih performansi. Ovi rezultati ukazuju na to da kombinovanje implicitne i eksplicitne nastave u okviru nastave engleskog jezika struke predstavlja sveobuhvatniji i efikasniji pristup usvajanju gramatike, jer omogućava kako svesno poznavanje pravila, tako i njihovu primenu u komunikativnim kontekstima. Istraživanje ističe značaj raznovrsnosti u nastavi i sugeriše da hibridni pristup može bolje odgovoriti na različite potrebe studenata u poređenju sa jednostranim metodama. Buduća istraživanja bi trebalo da obuhvate duži vremenski periodi, raznovrsniji profil ispitanika ili testiranje različitih jezičkih veština kako bi se ovi nalazi dodatno potvrdili.

Ključne reči: engleski jezik struke, nastava gramatike, implicitni pristup, eksplicitni pristup, kombinovane metode, usvajanje drugog jezika

Abstract – This study explores the effectiveness of implicit and explicit methods of learning grammar among ESP students. The research was conducted with three different groups of students, each exposed to a distinct instructional approach. The first group was taught exclusively through explicit grammar instruction, which involved direct explanation of grammatical rules, metalinguistic explanations, and controlled exercises. The second group learned grammar implicitly, through contextual language exposure (communicative tasks, reading comprehension, and listening) without direct explanation of grammatical rules. The third group received a combined, hybrid approach that integrated both explicit and implicit methods, aiming to achieve a balanced outcome: grammatical rule awareness on one hand, and practical application in real language situations on the other. The study lasted for four weeks, after which all three groups were assessed using grammar-focused tests. The results showed that all groups made progress; however, the third group, which followed the hybrid approach, demonstrated significantly better results in terms of grammatical achievement and overall language performance. These findings imply that combining implicit and explicit grammar instruction within ESP teaching represents a more comprehensive and effective approach to grammar acquisition, as it enables both conscious understanding of rules and their application in communicative contexts. The research highlights the importance of variety in language teaching and suggests that the hybrid approach might better address students' diverse learning needs compared to single-method instruction. Future research should include longer timeframes, more diverse participant profiles, or testing of different language skills in order to further validate these findings.

Keywords: ESP, grammar instruction, implicit approach, explicit approach, combined methods, SLA

1. UVOD

Eksplicitna i implicitna nastava predstavljaju dva osnovna metodološka i teorijska konstrukta i pristupa u okviru usvajanja stranog ili drugog jezika (engl. *Second Language Acquisition* – SLA), ali imaju značajnu primenu i u okviru nastave engleskog jezika struke (engl. *English for Specific Purposes* – ESP). S tim u vezi, nastava engleskog jezika struke podrazumeva usvajanje jezičkih kompetencija potrebnih studentima i stručnjacima iz određenih oblasti kako bi uspešno komunicirali u profesionalnom okruženju [1].

Maja Stanojević Gocić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: maja.stanojevic.gocic@akademijanis.edu.rs).

Eksplicitni pristup učenju gramatike, kao i eksplicitna nastava u opštem smislu, podrazumeva svesno usvajanje gramatičkih pravila, analiziranje struktura i metajezičko objašnjavanje, uz direktna uputstva nastavnika, koja podrazumevaku ukazivanje na greške koje nastaju u procesu jezičke produkcije, odnosno korekciju napravljenih grešaka [2], [3]. Ovakav pristup razvija metajezičku svest studenata i preciznost u izražavanju, što je naročito korisno u akademskim i profesionalnim kontekstima gde je formalna tačnost od posebne važnosti [4].

Nasuprot eksplicitnom učenju, implicitno učenje se odvija nesvesno, kroz ponavljanje i izloženost jeziku u kontekstu, bez direktnog objašnjavanja gramatičkih pravila [5]. U skladu s tim, implicitni pristup doprinosi fluentnosti i automatizaciji upotrebe jezika, koja podrazumeva nesvesnu (podsvesnu)

jezičku upotrebu, što je od suštinske važnosti u stvarnim komunikativnim situacijama [6].

Međutim, ova dva pristupa nisu međusobno isključiva, već su komplementarna. Shodno tome, uvođenje eksplicitnog i implicitnog učenja kao dve različita ali komplementarna pristupa učenju (engl. *learning*) i podučavanju (engl. *teaching*) nameću se kao prirodno rešenje. Kombinovani model nstave gramatike, koji kombinuje eksplicitno objašnjavanje sa implicitnim nastavnim aktivnostima, može omogućiti kako svesno razumevanje, ali i spontanu jezičku produkciju, koja podrazumeva spontanu upotrebu gramatičkih pravila u nastavnoj praksi engleskog jezika struke.

Ova studija ima za cilj da ispita koji od pomenutih pristupa daje najbolje rezultate kod studenata engleskog jezika struke, odnosno koji doprinosi kako većoj gramatičkoj tačnosti i preciznosti, tako i efikasnijoj upotrebi jezika u kontekstu.

2. NASTAVA GRAMATIKE

Nastava gramatike predstavlja jedno od ključnih pitanja u okviru istraživanja usvajanja stranog jezika, pošto način na koji se gramatika podučava direktno utiče na kvalitet jezičke kompetencije studenata. U tradicionalnom smislu, pristupi nastavi gramatike dele se na eksplicitne i implicitne modele učenja, pri čemu eksplicitna nastava podrazumeva svesno usvajanje gramatičkih pravila, njihovo direktno objašnjavanje i sistematsko vežbanje uz metajezičke komentare nastavnika U ovom pristupu studenti obraćaju pažnju na formu jezika, analiziraju gramatičke strukture i razvijaju metajezičku svest o jeziku, što doprinosi tačnosti jezičke upotrebe [3], [6].

S druge strane, implicitna nastava gramatike polazi od principa prirodnog usvajanja jezika kroz izloženost, bez eksplicitnih objašnjenja gramatičkih pravila. Ovaj nastavni pristup podrazumeva da studenti u komunikaciji (kroz autentične komunikativne situacije, slušanje, čitanje i rešavanje zadataka koji imaju komunikativnu svrhu) spontano usvajaju gramatičke obrasce. Cilj implicitne nastave nije analiza forme, već razvijanje sposobnosti fluentnog izražavanja i funkcionalne upotrebe jezika [7].

Iako se eksplicitni i implicitni pristupi često posmatraju kao suprotstavljeni, u oblasti nastave stranog jezika ukazuje se da oni mogu biti komplementarni. Istraživanja o ovoj temi [8] sugerišu da kombinovanje eksplicitnog i implicitnog podučavanja može doneti najbolje rezultate jer omogućava studentima da razvijaju i svesno znanje o jeziku, odnosno deklarativno znanje (engl. *declarative knowledge*) i automatsku upotrebu jezičkih struktura, odnosno proceduralno znanje (engl. *procedural knowledge*) [5]. Pri tome se potvrđuje činjenica da uspeh u učenju jezika podrazumeva formalno poznavanje jezika i njegovih zakonitosti, kao i svest o njima, ali i sposobnost upotrebe jezičkih struktura u raznovrsnim kontekstima [9]. [10].

U okviru nastave engleskog jezika struke, koja se ne fokusira samo na opšte jezičke veštine, već i na upotrebu jezika u stručnim i profesionalnim kontekstima [11], neophodno je da studenti istovremeno razumeju gramatičke strukture (što omogućava eksplicitna nastava) i da ih spontano koriste u realnim situacijama poslovne, tehničke ili akademske komunikacije (što predstavlje primarni cilj implicitne nastave).

Hibridni pristup, dakle, povezuje analitički i komunikativni aspekt nastave. U početnim fazama učenja, eksplicitna objašnjenja pomažu studentima da razumeju strukturu jezika, dok ih kasnije implicitne aktivnosti (npr., simulacije sastanaka, prezentacije, čitanje stručnih članaka) podstiču da ta znanja primenjuju u praksi. Takav model doprinosi metajezičkoj svesti, ali i funkcionalnoj kompetenciji, što je ključno za uspešno savladavanje engleskog jezika struke, dok u savremenom kontekstu hibridna metodologija pokazuje da gramatika ne mora biti izolovana komponenta jezika, već sastavni deo komunikacije u realnim profesionalnim situacijama. Time se prevazilazi tradicionalna podela između forme i funkcije, jer studenti paralelno razvijaju i preciznost i fluentnost, što predstavlja glavni cilj efikasne nastave gramatike u visokom obrazovanju.

3. METODOLOGIJA

Cilj istraživanja bio je da se uporedi efikasnost tri različita pristupa u nastavi gramatike engleskog jezika struke, i to: eksplicitnog, implicitnog i kombinovanog pristupa. Ključno istraživačko pitanje bilo je koji tip nastave dovodi do boljih gramatičkih i komunikativnih postignuća.

U istraživanju je učestvovalo ukupno 120 ispitanika, što je broj koji se u literaturi smatra optimalnim za kvazi-eksperimentalne studije u istraživanjima vezanim za usvajanje drugog jezika i pedagogiju jezika struke [6], [12]. Navedeni uzorak omogućava reprezentativnost rezultata i istovremeno omogućava analizu po grupama.

Ispitanici su bili studenti prve i druge godine osnovnih strukovnih studija u Akademiji tehničko-vaspitačkih strukovnih studija (Odsek Vranje). Prikupljeni su podaci o polu i uzrastu ispitanika, kao i o dužini učenja engleskog jezika. U istraživanju je sudelovalo 48 studenata mupkog pola (40%) i 72 studentkinje (60%). Uzrast ispitanika je bio između 19 i 23 godine, i prosečna starost iznosila je 20,8 godina. Dužina prethodnog učenja engleskog jezika oznosila je od 8 do 12 godina formalnog obrazovanja. Svi učesnici u istraživanju su radili početni dijagnostički test, kojim su procenjene njihove početne gramatičke i leksičke kompetencije. Na osnovu rezultata tog testa izvršeno je uravnotežavanje grupa, tako da nisu postojale značajne razlike u polaznom znanju između grupa ($p > 0.05$).

Istraživanje je dizajnirano tako da su ispitanici su podeljeni u tri eksperimentalne grupe od po 40 studenata na sledeći način:

1. Grupa 1 (eksplicitna nastava: direktno objašnjavanje gramatičkih pravila, metajezička objašnjenja, vežbanja i korekcije grešaka);
2. Grupa 2 (implicitna nastava: fokus na komunikativne aktivnosti, čitanje i slušanje autentičnih tekstova, bez eksplicitnog objašnjenja);
3. Grupa 3 (kombinovana nastava: kombinacija eksplicitnih instrukcija i komunikativnih zadataka,

promišljanje o jezičkim pravilima kroz jezičku praksu).

Prema tome, dok su prve dve grupe pohađale samo eksplicitnu nastavu (prva grupa), odnosno samo implicitnu nastavu (druga grupa), treća grupa je u pomenutom periodu bila izložena hibridnom nastavnom modelu.

Istraživanje je sprovedeno tokom četiri nedelje (8 časova po grupi, ukupno 32 časa). Na početku i kraju eksperimenta primenjena su dva testa: test na početku eksperimenta (procena postojećeg gramatičkog znanja) i test na kraju eksperimenta (procena postignutog napretka u pogledu poznavanja gramatike i ocenjivanje pisane produkcije).

4. REZULTATI I ANALIZA

Očekivani odgovor na pitanje koje se postavlja u ovom istraživanju je da kombinovani pristup daje najbolje rezultate u nastavi gramatike i razvoju jezičke kompetencije. Završni test obuhvatao je dva dela: (1) testiranje gramatičkih struktura i (2) testiranje pisane produkcije u poslovnom kontekstu.

Dobijeni rezultati u skladu su sa projektovanim rezultatima. U Tabeli I prikazani su rezultati završnog testiranja ispitanika.

Tabela I *Dobijeni rezultati*

Grupa	Pristup nastavi	Aktivnosti	Rezultati postignuti na testu
Grupa 1	Eksplicitna	Direktna objašnjenja, metajezička pravila, vežbanja	70%
Grupa 2	Implicitna	Komunikativni zadaci, čitanje, slušanje bez objašnjenja	68%
Grupa 3	Kombinovana	Balans eksplicitnog i implicitnog pristupa	85%

Sve tri grupe su pokazale napredak u pogledu gramatičkih i opštih jezičkih postignuća. Studenti u prvoj grupi, koji su bili izloženi eksplicitnom pristupu u nastavi, ostvarili su 70 % uspešnosti na završnom testu koji se sastojao iz dva dela. Druga grupa, koja je slušala implicitnu nastavu u periodu sprovođenja eksperimenta, ostvarila je procenat uspeha na navedenom testiranju od 68%, dok je tzv. kombinovana grupa ostvarila najveći procenat uspešnosti, odnosno dala najveći broj tačnih odgovora u okviru gramatičkog testa i imala najmanje grešaka u okviru pisanog zadatka (85%).

Nakon toga, izvršeno je poređenje rezultata po grupama, i ti rezultati su prikazani u Tabeli II, koja oslikava prednosti i nedostatke pristupa primenjenih u okviru sprovedenog istraživanja.

Rezultati su, dakle, pokazali da su sve grupe ostvarile napredak, što potvrđuje da i eksplicitni i implicitni pristupi nastavi gramatike imaju svoju pedagošku vrednost. Međutim, kombinovani pristup pokazao se kao najefikasniji pošto su ispitanici pomenute grupe ostvarili bolje rezultate kako u pogledu gramatičke preciznosti, tako i u pogledu tačnosti i prirodnosti izražavanja u pisanoj formi.

Tabela II *Poređenje grupa i dobijenih rezultata*

Grupa	Pristup nastavi	Prednosti	Ograničenja
Grupa 1	Eksplicitna	Jasna pravila, sistematičnost	Nedostatak komunikativnog konteksta
Grupa 2	Implicitna	Realna komunikacija, fluentnost	Nedovoljno znanje o pravilima
Grupa 3	Kombinovana	Najbolji balans: pravila i upotreba	Zahteva više vremena i planiranje

Rezultati ovog istraživanja potvrđuju druge empirijske studije u ovoj oblasti u kojima ispitanici izloženi hibridnom modelu imaju bolja postignuća u odnosu na one koji su podučavani tradicionalnim metodama koje podrazumevaju isključivo eksplicitni ili implicitni pristup [13].

Pored toga, eksplicitna znanja mogu postati implicitna kroz praksu, što podržava ideju o integrisanom modelu podučavanja [3]. Kombinovani pristup omogućava i integrisano usvajanje jezika, pri čemu studenti prvo razumeju pravilo, a zatim ga primenjuju u realnim situacijama. Takav proces vodi ka većoj samostalnosti u učenju i dugoročnom pamćenju jezičkih obrazaca [8].

5. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja potvrđuju da kombinovanje eksplicitne i implicitne nastave gramatike dovodi do najboljih postignuća u nastavi engleskog jezika struke. Prema tome, hibridni model omogućava studentima da razvijaju i analitičko razumevanje pravila i intuitivnu upotrebu jezika u kontekstu. Ovaj pristup posebno je relevantan za područje engleskog jezika struke, gde se preciznost i komunikativnost moraju usklađivati sa potrebama studenata koje se odnose na uspostavljanje efikasne komunikacije u određenom akademskom ili profesionalnom okruženju.

Eksplicitna nastava doprinosi metajezičkoj svesti, dok implicitno učenje osnažuje sposobnost za spontano izražavanje. U skladu s tim, pedagoške ili praktične implikacije ove studije predstavljaju uvođenje hibridnog pristupa u nastavi gramatike, odnosno uvođenje odgovarajućeg balansa eksplicitnog i implicitnog učenja i podučavanja, kao dve različita ali komplementarna pristupa.

Neophodno je da buduća istraživanja na ovom polju obuhvate duži vremenski period, različite jezičke veštine (npr., slušanje i govor), kao i širi uzorak studenata iz različitih struka, kako bi se dobijeni nalazi dodatno potvrdili.

Ova studija doprinosi aktuelnim pedagoškim raspravama o optimalnim pristupima u nastavi gramatike, posebno u okviru stručnih studijskih programa u kojima je praktična upotreba jezika od suštinske važnosti.

LITERATURA

[1] T. Dudley-Evans and M. J. St John, Developments in English for Specific Purposes: A multi-disciplinary approach, Cambridge: Cambridge University Press 1998.

[2] R. Ellis, "Implicit and explicit learning, knowledge and instruction", In. R. Ellis et al. (Eds.), Implicit and explicit knowledge in second language learning, testing and teaching Bristol: Multilingual Matters, 2009, pp. 3–26.

[3] R. M. DeKeyser, "Implicit and explicit learning", In. C. Doughty and M. Long (Eds.), The Handbook of Second Language Acquisition, Oxford: Blackwell, 2003, pp. 313–348.

[4] N. Spada and Y. Tomita, "Interactions between type of instruction and type of language feature: A meta-analysis", Language Learning, 60 (2), pp. 263–308, 2010.

[5] M. Paradis, Declarative and Procedural Determinants of Second Languages, Amsterdam: John Benjamins, 2009.

[6] R. Ellis, Instructed second language acquisition: A literature review, Language Teaching Research, 9(1), pp. 1–32, 2005.

[7] N. Spada, Communicative language teaching: Current status and future prospects. In. J. Cummins and C. Davison, International Handbook of English Language Teaching, Boston, MA: Springer. vol. 15, pp. 271–288, 2007.

[8] P. Robinson, "Individual differences and the fundamental similarity of implicit and explicit adult language learning", Language Learning, 47, pp. 45–99, 1997.

[9] S. Fotos and H. Nassaji, Form-focused instruction and teacher education, Oxford: Oxford University Press, 2007.

[10] D. Larsen-Freeman, Teaching language: From grammar to grammaring. Heinle, 2003.

[11] H. Basturkmen, Developing courses in English for Specific Purposes. Palgrave Macmillan. 2010.

[12] A. Mackey and S. M. Gass, Second Language Research: Methodology and Design, New York: Routledge, 2016.

[13] R. Ellis, Reflections on task-based language teaching, Multilingual Matters, 2018.

УТИЦАЈ ФРАНЦУСКИХ ДЕЧЈИХ ПЕСМИЦА (COMPTINES) НА ФОНЕТСКУ ПЕРЦЕПЦИЈУ И ВОКАБУЛАР У ПРЕДШКОЛСКОМ УЗРАСТУ

THE INFLUENCE OF FRENCH CHILDREN'S NURSERY RHYMES (COMPTINES) ON PHONETIC PERCEPTION AND VOCABULARY IN PRESCHOOL AGE

Ивица Панић

Садржај: У савременом учењу страних језика, посебно код предшколске деце, изазов представља ефикасно усвајање фонетских образаца и проширивање вокабулара на привлачан и природан начин. Традиционалне методе често занемарују значај музичке компоненте, иако бројне студије указују на њену кључну улогу у развоју језичких вештина. Овај рад се фокусира на испитивање како француске традиционалне дечје песме (цомптинес) попут "Фрѐре Јацqуес", "Алоуетте" и "Уне соурис верте" могу да допринесу бољој фонетској перцепцији и богаћењу вокабулара, као и да повећају мотивацију код ученика млађег узраста. Рад се заснива на аналитичко-прегледном приступу, комбинујући теоријске основе из области психолингвистике, музичке педагогије и методике наставе француског језика. Коришћени су резултати међународних студија (Мурпхеу, 1992; Сцхön ет ал., 2008) које истражују везу између музике и језичког учења, као и компаративна анализа традиционалних метода наставе у односу на музички интерактивни приступ. Посебна пажња посвећена је практичним примерима примене песама у предшколским установама. Истраживање показује да цомптинес имају вишеструке предности. Фонетска прецизност, ритам и мелодија олакшавају усвајање тешких гласова (нпр. француско /ʁ/) и интонације, лексички напредак, песме са тематским вокабуларом (нпр. делови тела, природне појаве) омогућавају контекстуално учење, мотивација и ангажовање, деца показују већу пажњу и уживање у учењу када се користи музика. Упоредна анализа са српским народним песмама (нпр. "Роди мили роди") потврђује универзалност ове методе. Иако су предности музичких активности очигледне, изазови укључују недостатак педагога обучених за интегрисање музике у наставу језика, потребу за адаптацијом песама за децу са специфичним потребама. Француске дечје песме представљају моћно средство за јачање фонетских и лексичких вештина, што их чини незаменљивим делом савремене наставе језика. Њихова имплементација захтева креативни приступ и даљу истраживачку валидацију, посебно у мултикултуралним окружењима. Рад наглашава потребу за развојем образовних програма који ће систематски користити потенцијал музике у језичком учењу.

Кључне речи: Француске дечје песме, фонетска перцепција, вокабулар, предшколско учење, музика и језик

Abstract: In contemporary foreign language learning, especially among preschool children, a significant challenge is the effective acquisition of phonetic patterns and vocabulary expansion in an engaging and natural way. Traditional methods often overlook the importance of the musical component, despite numerous studies indicating its crucial role in the development of language skills. This paper focuses on examining how French traditional children's songs (*comptines*) such as "Frère Jacques," "Alouette," and "Une souris verte" can contribute to better phonetic perception and vocabulary enrichment, as well as increase motivation in younger learners. The paper is based on an analytical-review approach, combining theoretical foundations from the fields of psycholinguistics, music pedagogy, and French language teaching methodology. It utilizes the results of international studies (Murphey, 1992; Schön et al., 2008) that explore the connection between music and language learning, as well as a comparative analysis of traditional teaching methods versus a music-interactive approach. Special attention is given to practical examples of using these songs in preschool institutions. The research indicates that *comptines* have multiple advantages: Phonetic precision – the rhythm and melody facilitate the acquisition of difficult sounds (e.g., the French /ʁ/) and intonation; Lexical progress – songs with thematic vocabulary (e.g., body parts, natural phenomena) enable contextual learning; Motivation and engagement – children show greater attention and enjoyment in learning when music is used. A comparative analysis with Serbian folk songs (e.g., "Rodi mili rodi") confirms the universality of this method. Although the advantages of musical activities are evident, challenges include the lack of educators trained to integrate music into language teaching and the need to adapt songs for children with special needs. French children's songs represent a powerful tool for strengthening phonetic and lexical skills, making them an indispensable part of modern language teaching. Their implementation requires a creative approach and further research validation, especially in multicultural environments. The paper emphasizes the need for the development of educational programs that will systematically utilize the potential of music in language learning.

Keywords: French children's songs, *comptines*, phonetic perception, vocabulary, preschool learning, music and language

1. УВОД

Учење страног језика у раном узрасту представља посебан изазов, али и изузетну прилику за развој трајних језичких и комуникацијских вештина.

Ivica Panić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: ivica.panic@akademijanis.edu.rs).

Традиционалне методе учења страних језика често се ослањају на механичку имитацију, репетитивно понављање и меморисање изолованих језичких структура, што може бити монотоно и ограничено у погледу дугорочног памћења и унутрашње мотивације ученика.

Са друге стране, савремени педагошки приступи који интегришу музику, ритам, игру и мултисензорне

активности показали су се изузетно ефикасним у олакшавању процеса језичке аквизиције. Француске дечје песме (comptines i formulettes) поседују богату културну традицију и мултифункционалну улогу која далеко превазилази пуку забаву – оне представљају софистициране инструменте за језичко учење, социјализацију и развој фонетске свести.

Песме попут "Frère Jacques", "Alouette", "Une souris verte"и "Savez-vous planter les choux?" не само да уводе децу у свет мелодије и ритма француског језика, већ м омогућавају да спонтано и природно усвоје нове речи, граматичке структуре и аутентичну интонацију.

Циљ овог рада је да се свеобухватно прикаже како француске дечје песме утичу на развој фонетске перцепције и вокабулара, као и да се упореде резултати учења са и без музичких активности. Посебан акценат стављен је на когнитивне и афективне аспекте учења језика, као и на имплементацију принципа активног учења кроз музику и игру.

2. ТЕОРИЈСКИ ОКВИР: МУЗИКА И ЈЕЗИЧКА АКВИЗИЦИЈА

Музика и језик деле бројне когнитивне и неуробиолошке механизме. Према Шону и сарадницима [7], мелодијски обрасци у песмама помажу деци да лакше уоче и усвоје прозодијске елементе језика, док Пател [6] указује на сличне мождане структуре које се активирају током обраде музичких и језичких стимулуса. Ова неурална преклапања објашњавају зашто музика може да послужи као катализатор за језичко учење.

Према Красхеновој утицајној теорији афективног филтра [2], емоционалне баријере и анксиозност могу значајно да успоре или онемогуће усвајање страног језика. Музика ствара опуштено, позитивно и сигурно окружење за учење, смањује стрес и повећава унутрашњу мотивацију. Песме попут "Фрère Jaqqyес" граде осећај заједништва, припадности и самопоуздања код деце.

Ритам и рима имају профоундан утицај на меморијске процесе. Према Медини [4], ритмички обрасци у песмама омогућавају ефикасније и дуготрајније памћење језичког материјала. Деца интуитивно лакше памте речи, фразе и граматичке структуре када су повезане са мелодијом него када су представљене као изоловане листе за меморисање.

Песме природно комбинују аудитивне, визуелне и кинестетичке елементе, што их чини идеалним за мултисензорно учење. Пример песме "Promenons-nous dans les bois", где се уз стихове изводе специфични покрети, илуструје како се језик може повезати са телом и конкретним искуством [1]. Ова повезаност подржава теорију ембодиед цогнитион, која наглашава важност телесног искуства у когнитивним процесима.

Comptines et formulettes су носиоци богате француске културне баштине. Кроз њих деца не усвајају само језик, већ и елементе традиције, обичаја и културног идентитета [5]. Учење песама представља аутентично упознавање са културним контекстом језика, што доприноси развоју интеркултурне компетенције.

Српске традиционе дечје песме попут "Ен тен тини" или "Иде маца око тебе" имају сличну функцију – оне развијају фонетску свест, ритмичко осећање и језичку креативност кроз игру. Стратегико комбиновање српске и француске песничке традиције омогућава деци да лакше прелазе из познатог културног оквира у нови, што смањује когнитивно оптерећење и повећава мотивацију за учење.

3. ФОНЕТСКА ПЕРЦЕПЦИЈА КРОЗ COMPTINES I FORMULETTES

Француски назални вокали ([ɑ̃], [ɛ̃], [ɔ̃]) представљају посебан изазов за ученике који нису изворни говорници. Песме попут "Une souris verte"омогућавају природно вежбање ових гласова кроз ритам и мелодију. У активном учењу деца могу да ставе руку испод носа како би осетила вибрацију карактеристичну за назалне вокале, што помаже у сензорној интеграцији и свесности артикулације.

Увуларни глас /ʁ/ (француско "р") је један од препознатљивих, али тешко савладивих гласова француског језика. Песме "Frère Jacques" и "Petit escargot" га често наглашавају у различитим позицијама. Активна игра "лов на /ʁ/" – где деца пљешћу сваки пут када чују овај глас – развија фонемску свест и дискриминацију слуха.

Песма "Dans la forêt lointaine" пружа изванредну прилику за учење разлике између изговорених и неизговорених консонаната на крају речи, као и појава лиаисон-а. Кроз активно певање са и без завршних слова, деца интуитивно усвајају ове сложене фонетске обрасце.

Песма "Un, deux, trois, nous irons au bois" са својим јасним ритмичким обрасцом идеална је за развој слоговне свести. Деца могу да ударају длановима у ритму слогова, што повезује моторику са фонолошким процесима и јача осећај за ритам језика.

Песма "Savez-vous planter les choux?" уводи специфичну мелодију питања на француском. Кроз групно певање у облику дијалога (питања и одговори), деца усвајају интонационе обрасце који су суштински за комуникативну компетенцију.

4. ВОКАБУЛАР КРОЗ МУЗИЧКЕ СТРУКТУРЕ

Песме као што су "Alouette" i "Un éléphant"користе стратегију понављања која омогућава природно усвајање вокабулара. Ритмичка структура песме делује као мнемотехничко помагало, олакшавајући дугорочно памћење. У активном учењу, деца могу да повезују картице са сликама и речима током певања, што појачава визуелно-аудитивне везе.

Comptines често обрађују теме које су блиске дечјем свету: природу, животиње, свакодневне радње. Песме попут "Ah! Les crocodiles" i "Dans la forêt lointaine" нуде вокабулар у природном контексту. Активно учење кроз

глуму животиња или природних елемената додатно продубљује овај процес.

Песма "Savez-vous planter les choux?" ефикасно повезује глаголе са конкретним радњама, учећи бројеве и секвенце покрета. Деца имитирају садњу и друге радње, што интегрише језичко учење са физицким искуством.

Песме "Frère Jacques" і "Petit escargot" обрађују свакодневне рутине и осећања. Кроз осмишљавање нових стихова песме, деца вежбају креативну употребу језика и изражавање личних емоција.

Српске песме попут "Лептирићу шаренићу" или "Иде маца око тебе" имају сличну функцију у развоју вокабулара код деце. Упоредна анализа отвара могућност за мостове између два језика и културе, олакшавајући трансфер знања и интеркултурно разумевање.

5. УЧЕЊЕ СА И БЕЗ МУЗИЧКИХ АКТИВНОСТИ: КОГНИТИВНИ И АФЕКТИВНИ АСПЕКТИ

5.1. Когнитивни аспекти учења

Без музике: Традиционални приступи често се ослањају на меморисање листа речи и механичку имитацију фонетских образаца. Ове методе захтевају свесни когнитивни напор и претежно ангажују радну меморију, што може довести до брзог заборављања.

Са музиком: Песме повезују језичке елементе са мелодијом, ритмом и покретом, активирајући процедуралну меморију и мултисензорне путеве памћења. Ово омогућава аутоматичније и трајније усвајање језичког материјала.

5.2. Афективни аспекти учења

Без музике: Ученици често доживљавају анксиозност услед страха од грешке и притиска да тачно репродукују језичке облике. Мотивација може да опадне услед монотоније наставног процеса.

Са музиком: Песме смањују афективни филтер, подстичу сарадњу уместо надметања, и стварају осећај заједништва. Забавни аспект певања повећава унутрашњу мотивацију и позитивне емоције повезане са језичким учењем.

5.3. Компаративна анализа ефикасности

Фонетска перцепција: Док традиционалне методе наглашавају имитацију која може бити спора и напорна, песме кроз мелодију и ритам олакшавају природну дискриминацију и продукцију гласова.

Вокабулар: Изоловано учење речи води ка краткорочном памћењу, док контекстуализација кроз песме омогућава дугорочну ретенцију.

Мотивација: Екстринзичка мотивација доминира у традиционалним приступима, док музичке активности буду интринзичку мотивацију и радозналост.

Социјална интеракција: Индивидуално учење ограничава језичку интеракцију, док групно певање подстиче кооперацију и комуникацију.

Меморијске стратегије: Механичко памћење је напорно и неефикасно, док мултисензорно учење кроз песме ангажује више модалитета памћења.

5.4. Педагошке импликације и препоруке

Песме треба интегрисати у наставу француског језика као структурални, а не спорадични елемент методике. Наставници би требало да:

- Редовно користе песме за увод у нове тематске целине

- Комбинују певање са покретима и визуелним помоцима

- Подстичу децу на креативно допуњавање и модификацију стихова

- Користе песме за социјално емоционално учење и изградњу заједнице

Ове стратегије омогућавају брже, дубље и трајније усвајање језика уз развој позитивног става према учењу и култури циљног језика.

6. ЗАКЉУЧАК

Француске дечје песме демонстрирају изузетан потенцијал за развој фонетске перцепције и вокабулара у настави страног језика за предшколски узраст. Оне представљају јединствену синтезу музичких, лингвистичких и културолошких елементата, стварајући богато и аутентично искуство учења.

У поређењу са традиционалним методама, музичке активности нуде бројне когнитивне и афективне предности – деца лакше и прецизније разликују и производе специфичне француске гласове, ефикасније усвајају и задржавају нове речи, и развијају позитивнији емоционални однос према језику и учењу.

Педагошка пракса треба да препозна песме као фундаментални метод активног учења – кроз покрет, игру, драматизацију и креативно језичко истраживање. Стратегико повезивање српских и француских песничких традиција додатно олакшава културну и језичку транзицију, градећи мостове између познатог и новог.

Закључујемо да музика у настави језика не представља пуко мотивационо средство, већ моћан алат когнитивне, афективне и културне аквизиције. Кроз песме, деца не само да усвајају језичке вештине, већ стварају дубљу, емотивну и естетску везу са језиком, што чини основу за целоживотно учење и интеркултурно разумевање.

АНЕКСИ – ПРАКТИЧНИ МАТЕРИЈАЛ ЗА НАСТАВНИКЕ

Анекс 1: „Frère Jacques“ – рад на изговору и канону

Текст песме:

Frère Jacques, frère Jacques
Dormez-vous ? Dormez-vous ?
Sonnez les matines ! Sonnez les matines !

Ding, ding, dong. Ding, ding, dong.

Дидактички циљеви:
- Развој фонетске перцепције француског увуларног /ʁ/.
- Усвајање интонације питања (Dormez-vous ?).
- Рад на ритму и канону као облику кооперативног учења.

Активно учење (примери):
1. Фонетска игра: студенти пљешћу сваки пут када чују /ʁ/.
2. Канон у групама: класа се подели у три групе које певањем канона развијају осећај ритма и интонације.
3. Драматизација: студенти имитирају звоно и покрете буђења.

Анекс 2: „Alouette, gentille alouette“ – вокабулар делова тела

Текст песме (извод):

Alouette, gentille alouette,
Alouette, je te plumerai.
Je te plumerai la tête,
Je te plumerai la tête,
Et la tête ! Et la tête !

Дидактички циљеви:
- Учење вокабулара делова тела (tête, bec, yeux, ailes…).
- Развијање меморије кроз ритмичко понављање.
- Повезивање речи са покретом (TPR – Total Physical Response).

Активно учење (примери):
1. Показивање делова тела: студенти додирују делове тела док певају.
2. Картице са сликама: наставник показује слике, студенти повезују их са текстом.
3. Креативна допуна: студенти осмишљавају нове стихове (нпр. додају друге делове тела или животиње).

Анекс 3: „Une souris verte“ – игра речи и назални вокали

Текст песме (извод):
Une souris verte
Qui courait dans l’herbe.
Je l’attrape par la queue,
Je la montre à ces messieurs.

Дидактички циљеви:
- Рад на назалним вокалима [ɑ̃], [ɛ̃], [ɔ̃].
- Увежбавање речника везаног за животиње и природу.
- Развијање ритмичке и фонетске свести.

Активно учење (примери):
1. Фонетска радионица: студенти стављају руку испод носа да осете вибрацију при изговору назала.
2. Глума миша: студенти пантомимом представљају покрете миша у песми.
3. Игра питања и одговора: наставник пита „Où est la souris ?“, студенти одговарају користећи научени вокабулар.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Jalongo, M. R., & Ribblett, D. M. (1997). Using song picture books to support emergent literacy. Childhood Education, 74(1), 15–22

[2] Krashen, S. (1982). Principles and practice in second language acquisition. Oxford: Pergamon.

[3] Levitin, D. (2006). This is Your Brain on Music. New York: Dutton.

[4] Medina, S. L. (1990). The effects of music upon second language vocabulary acquisition. TESOL Quarterly, 24(3), 589–606.

[5] Molinié, M. (2009). Chansons et apprentissages langagiers: le rôle de la culture enfantine. Paris: Didier.

[6] Patel, A. D. (2008). Music, Language, and the Brain. New York: Oxford University Press.

[7] Schön, D., Boyer, M., Moreno, S., Besson, M., Peretz, I., & Kolinsky, R. (2008). Songs as an aid for language acquisition. Cognition, 106(2), 975–983.

[8] Šuvaković, U. (2008). Metodika nastave stranih jezika. Beograd: Zavod za udžbenike.

[9] Vujović, A. (2015). Muzika u ranom obrazovanju: teorija i praksa. Beograd: Učiteljski fakultet.

[10] Jordania, J. (2011). Why do People Sing? Music in Human Evolution. Tbilisi: Logos.

[11] Mithen, S. (2005). The Singing Neanderthals: The Origins of Music, Language, Mind and Body. London: Weidenfeld & Nicolson.

[12] Brandt, A., Gebrian, M., & Slevc, L. R. (2012). Music and early language acquisition. Frontiers in Psychology, 3, 327.

[13] Colombié, S., & Tato, R. (2017). La chanson en classe de FLE: pratiques et perspectives. Le Français dans le Monde, 58, 45–48.

BARIJERE U KOMUNIKACIJI I MEHANIZMI ZA NJIHOVO PREVAZILAŽENJE, DA SE BOLJE RAZUMEMO

BARRIERS IN COMMUNICATION AND MECHANISMS FOR OVERCOMING THEM, TO UNDERSTAND EACH OTHER BETTER

Mirjana Marković i Anđela Ilić

Sadržaj - Moderno društvo suočava se sa naglim razvojem nauke, tehnike i tehnologije u svim domenima ljudskog delovanja. Nova otkrića nalaze svoju praktičnu primenu u gotovo svim aspektima svakodnevnog života, što je značajno podiglo kvalitet življenja većine stanovnika globalnog društva. Međutim, intenzivan tehnološki napredak, naročito prodor veštačke inteligencije u svakodnevicu, nosi sa sobom i brojne izazove. Prednosti koje donosi digitalno doba ne mogu se osporiti, ali je cena tog razvoja društvo koje se kreće u pravcu čiji tok postaje teško predvidiv. Razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija, pametnih telefona i društvenih mreža doveo je do svojevrsne evolucije ljudske komunikacije. Ipak, istovremeno se primećuje trend smanjenja obima neformalne, neposredne komunikacije među ljudima. Ćaskanje, spontana razmena emocija, kao i upotreba neverbalnih oblika izražavanja — mimike, gestova i kontakta pogledom — sve su ređi. Time se smanjuje nivo empatije i sposobnost za empatsko primanje, dok se istovremeno povećava stepen egocentrizma i fokusiranosti na zadovoljenje sopstvenih potreba. Ovakve promene odražavaju se na sve sfere socijalnog života — od porodičnih odnosa i komunikacije među vršnjacima, do formalnih odnosa u obrazovnim institucijama i na radnom mestu. U visokoškolskim ustanovama, na primer, primećuju se promene u komunikaciji između profesora i studenata, ali i među samim zaposlenima. Sve češće se javlja fenomen nemogućnosti izražavanja misli, osećanja i potreba na adekvatan način. Posledično dolazi do nerazumevanja i pogrešnog tumačenja poruka, iako se učesnici komunikacije služe istim jezikom. Takve barijere u komunikaciji dovode do nezadovoljstva, a nezadovoljstvo neretko prerasta u konflikte.

Ključne reči: veštačka inteligencija, neformalna komunikacija, empatija, otuđenje, barijere u komunikaciji

Abstract - Modern society is facing a rapid development of science, technology, and innovation in all domains of human activity. New discoveries are finding their practical application in almost every aspect of everyday life, significantly improving the quality of life for the majority of the global population. However, this intense technological progress, especially the penetration of artificial intelligence into daily life, brings numerous challenges. The benefits of the digital age are undeniable, yet the price of such progress is a society moving in a direction whose course is increasingly difficult to predict. The development of information and communication technologies, smartphones, and social networks has led to a kind of evolution in human communication. At the same time, there is a noticeable trend of decreasing informal, face-to-face communication among people. Small talk, spontaneous emotional exchange, and the use of nonverbal forms of expression — such as facial expressions, gestures, and eye contact — are becoming less frequent. As a result, the level of empathy and the capacity for empathetic reception are diminishing, while egocentrism and self-centeredness are increasing, with individuals focusing primarily on satisfying their own needs.These changes are reflected in all spheres of social life — from family relationships and peer communication to formal relations within educational institutions and workplaces. In higher education, for example, changes can be observed in the communication between professors and students, as well as among staff members themselves. An increasingly common phenomenon is the inability to adequately express thoughts, feelings, and needs. Consequently, misunderstandings and misinterpretations occur, even though the participants use the same language. Such communication barriers lead to dissatisfaction, and dissatisfaction often escalates into conflict.

Keywords: artificial intelligence, informal communication, empathy, alienation, communication barriers

1. UVOD

Problemi otuđenja, nedostatka komunikacije, zatvorenost, odsutnost empatije, usamljenost i nezadovoljstvo sopstvenim životom kao i sistemom u koji je jedinka “usađena” i prinuđena da obitava zahtevaju sistematski društveni upliv i hitnu potrebu za razrešenjem. Ali, kako rešiti probleme? Okidači za nesporazume mogu biti različitog tipa.

Mirjana Marković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (имејл: mirjana.markovic@akademijanis.edu.rs).

Anđela Ilić, studentkinja Akademije tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (имејл: andjela171098@gmail.com).

Njihov spektar je toliko širok da zahteva kompleksno istraživanje i pronalaženje rešenja. Barijere u komunikaciji su toliko mnogobrojne, da je potrebno jednu po jednu rasčlanjivati i pronalaziti uspešne mehanizme za njihovo otklanjanje. Najbezazlenije barijere u komunikaciji su mehaničkog karaktera, najkomplikovanije one psihološkog tipa [10].

Kada je komunikacija na poslu u pitanju, na nju utiču mnogobrojni faktori. Neosporno je da u poslovnim okvirima uvek postoji doza osećaja da postoji konkurencija, mada takmičarski duh može imati i pozitivne ishode, ali je bitno raditi timski. Samo ako pojedinac ima osećaj da je deo tima, on će moći da iskaže svoj puni potencijal i da da maksimum. Ali, kako to postići? Jedan od mehanizama su stalne radionice

koje će povećavati svesnost da je svaki pojedinac deo tima. Ljudi vape da ih neko razume ali, sami ne žele da razumeju druge. To se pokazalo istinitim tokom sesije na konferenciji tokom koje je izlagan ovaj rad. Postoji želja i potreba da se pojasne mehanizmi za uklanjanje prepreka u razumevanju tokom procesa komuniciranja.

Rešenje se može ponaći u jednom sveobuhvatnom inicijalnom istraživanju, koje će pokrenuti dalja ispitivanja problema. Obuhvatiti jednu mikrocelinu koja će poslužiti kao model. Delovati u malom, da bi se pokazalo kako delovati na širu populaciju. Čovek ili ima empatiju, ili je nema. Ali postoje drugi mehanizmi koji mogu urediti društvenu celinu počevši od mikrosredine [11]. I oni mogu biti veoma aplikativni i kasnije na druge društvene modele.

Dakle, prvi korak je ispitati uzroke otuđenja ljudi, nemogućnosti obavljanja adekvatne komunikacije, nemogućnosti čitanja neverbalne komunikacije koja je možda i bitnija od verbalne, njihove emocionalne nepotpunosti koja vodi u nezadovoljstvo, ali i u konflikte [9]. Organizovanje radionica gde će se ljudi podsticati na saradnju, gde će se raditi na otvaranju i otkrivanju uzroka njihove otuđenosti i nezadovoljatva, netolerantnosti i smanjenog senzibiliteta i empatije za druge.

Smatramo da je krajnje vreme da se pokaže da problemi ljudi nisu samo njihovi lični problem. Da se vrati osećaj zajedništva koji je postojao još u prvim ljudskim zajednicama i održavao se do modernog doba koje je podstaklo da ljudi krenu da samo u materijalnom dobrostanju vide ono za čim treba težiti. Život nije samo novac i ono što se njime može kupiti. Ljudi su socijalna bića, koja mogu da zdravo funkcionišu samo u okviru društvene zajednice gde će se osećati prihvaćenim [6].

Da se bolje razumemo, naučimo da adekvatno prevaziđemo svaku barijeru u komunikaciji i da se empatski otvorimo ka svakom čoveku. Tako ćemo svojim primerom dati doprinos da društvo bolje funkcioniše. Barem se tome nadamo.

Kao rezultat izlaganja prezentacije koja je pisana u svrhu obrazloženja ideja iznesenih u proširenom apstraktu, došlo se do mnogih potvrdnih spoznaja da su ljudi svesni sve većeg otuđenja pojedinaca, pa i čitavih grupa unutar društva. Diskusija je pokazala da postoji dobra volja da se radi na jačanju otvorenosti između ljudi, uklanjanju svih barijera u komunikaciji, kako semntičke prirode, tako i onih psiholoških. Rad na sebi je ključan u uključivanju svakog pojedinca u rad kolektiva kao aktivnog člana i timskog igrača. Timbilding, zaista pokazuje rezultate u smislu povezivanja osoblja, razgovora o međusobnim problemima, mogućim razmiricama, ali i o tome da postoje osnove za prevazilaženje formalnog jezika komunikacije i zalaženje u domen emocije, emociolnalnog i empatskog. Jer, ključ za uspešan rad, život i postojanje jeste povezivanje sa drugim ljudima. Kao što bi Niče rekao, čovek može živeti sam jedino ako je Bog ili zver.

Smatramo da je potrebno produbljivati istraživanja iz ovo oblasti. Isto tako i odraditi seriju radionica koje bi omogućile shvatanje i upijanje tehnika koje poboljšavaju timski rad. Potrebno je svakom čoveku dati na značaju, jer svako od nas je jedna i neponovljiva jedinka sa svim onim što nosi u sebi. Jedino kroz podsticanje emocionalnog odgovora, empatije i želje da se povezujemo jedni sa drugima praveći jak i čvrst kolektiv koji radi timski možemo osetiti da smo ispunili misliju svog postojanja. Komunikacija je osnovni proces putem kojeg ljudi razmenjuju informacije, ideje, emocije i značenja. Vreg [11] definiše komunikaciju kao dinamički proces stvaranja i razmene značenja između dve ili više osoba putem verbalnih i neverbalnih poruka. Međutim, komunikacija nije uvek uspešna. Tokom procesa, mogu se javiti različite prepreke koje utiču na jasnoću, tačnost i efikasnost poruke.

U akademskom okruženju, kvalitet komunikacije između profesora i studenata, kao i među kolegama, direktno utiče na proces učenja, motivaciju i akademsku atmosferu [9]. Stoga, razumevanje barijera i mehanizama njihovog prevazilaženja ima ključni značaj za unapređenje obrazovnog procesa.

2. POJAM I ZNAČAJ KOMUNIKACIONIH BARIJERA

Barijere u komunikaciji predstavljaju sve faktore koji ometaju pravilno razumevanje poruka između pošiljaoca i primaoca. One mogu nastati u bilo kojoj fazi komunikacionog procesa – kod formulisanja poruke, njenog prenošenja, dekodiranja ili interpretacije [14].

Adler i Towne [1] naglašavaju da barijere često nisu samo tehničke prirode, već proizlaze iz psiholoških, socijalnih i kulturoloških razlika. Kada sagovornici imaju različite referentne okvire, iskustva ili očekivanja, verovatnoća za pogrešno razumevanje drastično raste.

3. VRSTE KOMUNIKACIONIH BARIJERA

3.1. Jezičke barijere

Jezičke ili semantičke barijere često izazivaju nesporazume u komunikaciji. Uključuju nedovoljno poznavanje jezika, neadekvatnu upotrebu kako stručne terminologije, tako i reči koje mou biti protumačene u pogrešnom kontekstu. Sve u svemu svode se na nejasan način izražavanja [3]. U viskoškolskim obrazovnim institucijama, često se javljaju u obliku akademskog načina izražavanja koji studentima nižih godina studija može biti teško razumljiv.

3.2. Psihološke barijere

Psihološke barijere obuhvataju predrasude, stereotipe, strah od autoriteta, nesigurnost ili emocionalne tenzije [1]. U akademskom kontekstu, studenti često osećaju anksioznost prilikom komunikacije sa profesorima, što može dovesti do pasivnosti i nedostatka dijaloga. Psihološke barijere najčešće izazivanju probleme i nesporazume u komunikacionoj praksi. Lakše se prevaziđu semantičke barijere. Kada se u komunikaciji jave strahovi, nesigurnosti i sve u svemu nespretnost u upotebi kako reči, tako i elemenata neverbalne komunikacije, rezultat neizostavno budu šumovi u komunikaciji koji mogu dovesti do ozbiljnih nesporazuma. Zbog toga je preporuka da se putem radionica radi na uklanjajnanu nedoumica i rešavanju ličnih problema.

3.3. Kulturološke barijere

Gudykunst [4] ističe da kulturološke razlike mogu izazvati nesporazume čak i kada se koristi isti jezik. U međunarodnim

univerzitetskim okruženjima, razlike u neverbalnim obrascima, normama pristojnosti i komunikacionom stilu mogu dovesti do konflikata ili neefikasne saradnje. U različitim kulturama postoje različiti kodeksi ponašanja, kulturni obrasci različitih naroda nose svoje osobenosti. Najizraženije razlike u modelima ponašanja, u tome šta su maniri i dobre prakse mogu se uočiti ako uporedimo kodekse ponašanja evropljanja i istočnjaka.

3.4. Organizacione barijere

Organizacione barijere odnose se na strukturalne i proceduralne prepreke u institucijama – poput složenih hijerarhija, formalnih kanala komunikacije i nedostatka povratnih informacija [5]. Na fakultetima, ovakve barijere mogu ograničiti interakciju između studenata i profesora, naročito u velikim grupama ili prilikom administrativne komunikacije.

4. KOMUNIKACIJA U AKADEMSKOM OKRUŽENJU

Komunikacija na univerzitetima ima dvostruku funkciju: obrazovnu i socijalnu. Kvalitet interakcije između profesora i studenata značajno utiče na uspeh studenata i njihovu integraciju u akademsku zajednicu. Kada su komunikacione barijere prisutne, studenti se mogu osećati isključeno, nesigurno ili demotivisano. S obzirom da su sve komunikacije dvosmerne, ovaj problem bi se mogao rešiti pronalaženjem kanala za ostvarivanje što efektivniije komunikacije, za otvaranje i razbijanje formalnosti jezika koji je u upotrebi u akademskim krugovima.

5. MEHANIZMI ZA PREVAZILAŽENJE BARIJERA

5.1. Razvijanje komunikacionih veština

Trening komunikacionih veština kod profesora i studenata doprinosi smanjenju nesporazuma. Aktivno slušanje, parafraziranje i empatična komunikacija pomažu u boljem razumevanju sagovornika [9]. Najadekvatniji način za razvijenje komunikacionih veština bi mogle da predstavljaju upravo radionice na kojima bi i profesori i studenti vežbali kako da lakše, razumljivije i prihvatljivije prenesu informacije. Na koji način da umanje tenzije koje nosi formalni način razgovora. Da pojačaju empatsko primanje i razumevanje. Sve ovo je još u fazi razrađivanja i neophodne su studije i godine rada da bi se razvile kako odgovarajuće teorije, tako i njima adekvatni praktično primenjivi programi osposobljavanja edukatora koji bi mogli raditi i sa profesorima i sa studentima na opemenjianju i osvešćivanju svih vidova komunikacion eprakse, kao i na otklanjanju svih vidova barijera koje se javljaju u procesu komuniciranja.

5.2. Transparentnost i povratne informacije

Redovna i jasna povratna informacija između profesora i studenata ključna je za prevazilaženje organizacionih i psiholoških barijera. Povratna informacija treba da bude konstruktivna, pravovremena i obostrana [2]. A za to je potrebno razbiti ustaljene predrasude o pozicijama profesorkih kadrova i njihovom približavanju mlađim generacijama.

5.3. Interkulturna kompetencija

Razvijanje interkulturne osetljivosti i tolerancije smanjuje rizik od pogrešnih interpretacija [4]. Univerziteti sa međunarodnim programima treba da promovišu radionice i programe interkulturnog dijaloga. Otvorenost ka drugim kulturama treba da postane primat na akademskim institucijama i tu olakšavajuće okolnosti prave i Erasmus programi razmene koji predsatvljaju jednu od osnova razmene kako profesora i studenata sa matičnih visokoškolskih institucija, tako i prijem profesora i studenata iz neke druge kulturne sredine.

5.4. Upotreba tehnologije

Digitalne platforme (e-mail, LMS sistemi, forumi) omogućavaju dodatne kanale komunikacije i mogu pomoći u prevazilaženju fizičkih i organizacionih barijera [7]. Međutim, važno je da se tehnologija koristi kao podrška, a ne kao zamena za ličnu interakciju.

6. ZAKLJUČAK

Komunikacione barijere su neizbežan deo svakodnevne interakcije, ali njihovo razumevanje i svesno upravljanje procesom komunikacije značajno povećava efikasnost međuljudskih odnosa. U akademskom kontekstu, otvorena, empatična i dvosmerna komunikacija između profesora i studenata predstavlja ključ uspeha. Edukacija o komunikacionim veštinama i kontinuirano razvijanje kulture dijaloga doprinose stvaranju produktivnog i podržavajućeg okruženja u visokom obrazovanju.

LITERATURA

[1] Adler, R. B., & Towne, N. (2011). *Looking Out, Looking In* (13th ed.). Boston, MA: Wadsworth Cengage Learning.

[2] Brookfield, S. D. (2017). *Becoming a Critically Reflective Teacher* (2nd ed.). San Francisco, CA: Jossey-Bass.

[3] DeVito, J. A. (2019). *The Interpersonal Communication Book* (15th ed.). Boston, MA: Pearson Education.

[4] Gudykunst, W. B. (2004). *Bridging Differences: Effective Intergroup Communication* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

[5] Katz, D., & Kahn, R. L. (1978). *The Social Psychology of Organizations* (2nd ed.). New York, NY: Wiley.

[6] Kristović, Mirjana (2010). *Sociologija masovnog komuniciranja*. Elektronsko izdanje. Novi Sad: Futura publikacije.

[7] Laurillard, D. (2013). *Rethinking University Teaching: A Conversational Framework for the Effective Use of Learning Technologies* (2nd ed.). London: Routledge.

[8] Littlejohn, S. W., & Foss, K. A. (2011). *Theories of Human Communication* (10th ed.). Long Grove, IL: Waveland Press.

[9] Lull, J. (1995). Media, Cmmunication, Culture - A Global Approach. Cambridge: Polity Press.

[10] McQuail, D. (1994). *Stari kontinenti - novi mediji*. Beograd: NOVA.

[11] Rogers, C. R. (1961). *On Becoming a Person: A Therapist's View of Psychotherapy.* Boston, MA: Houghton Mifflin

[12] Tomić, Zorica. (2003). *Komunikologija.* Beograd: Čigoja štampa

[13] Vreg, F. (1991). *Demokratsko komuniciranje*. Srajevo: NUB BiH

[14] Valcavik, P. (1987). *Koliko je stvarno stvarno*. Beograd: Nolit.

АФЕКТИВНА ВЕЗАНОСТ АДОЛЕСЦЕНАТА КАО ПРЕДИКТОР ФОРМАЛНООПЕРАЦИОНАЛНОГ МИШЉЕЊА

ATTACHMENT IN ADOLESCENCE AS A PREDICTOR OF FORMAL OPERATIONAL THOUGHT

Жана Живковић Ранчић

Садржај – У овом раду истраживали смо да ли постоји повезаност између димензија афективне везаности и степена развоја формално логичких операција и да ли је афективна везаност статистички значајан предиктор формалнооперационалног мишљења на адолесцентном узрасту. У истраживању је учествовало 100 испитаника узраста од 18 до 24 године, 44 мушкараца и 56 девојака. Од инструмената су коришћени ревидирана верзија упитника *Искуства у блиским односима* (*Experiences in Close Relationshipes*) која се састоји из две субдимензије: *анксиозност* и *избегавање* и Бондов тест логичких операција (*Bond's Logical Operation Test*). Прикупљање података спроведено је током јануара и фебруара 2021. године путем *Google forms* упитника. За статистичку обраду података коришћен је програм SPSS верзија 23.0. Истраживањем није потврђена хипотеза која гласи да је афективна везаност статистички значајан предиктор формалнооперационалног мишљења на адолесцентном узрасту. Повезаност између димензија афективне везаности и резултата на тесту формалнооперационалног мишљења није статистички значајна – коефицијент корелације између димензије *анксиозност* и скора на тесту формално-логичких операција износи $r = - 0,15$; $p > 0,05$, док за димензију *избегавање* износи $r = - 0,05$; $p > 0,05$. Резултати се тумаче у контексту специфичности адолесцентног периода одрастања.

Кључне речи: афективна везаност, формалнооперационално мишљење, адолесценција.

Abstract – In this paper, we investigated whether there is a relationship between the dimensions of affective attachment and the degree of development of formal logical operations and whether attachment is a statistically significant predictor of formal operational thinking in adolescence. The study involved 100 respondents aged 18 to 24, 44 men and 56 women. The instruments used were a revised version of the *Experiences in Close Relationships* questionnaire, which consists of two subdimensions: *anxiety* and *avoidance,* and *Bond's Logical Operation Test*. Data collection was conducted during January and February 2021 using a Google forms questionnaire. SPSS version 23.0 was used for statistical data processing. The research did not confirm the hypothesis that attachment is a statistically significant predictor of formal operational thinking in adolescence. The relationship between the dimensions of attachment and the results on the formal operational thinking test is not statistically significant – the correlation coefficient between the *anxiety* dimension and the score on the formal logical operations test is $r = - 0.15$; $p > 0.05$, while for the *avoidance* dimension it is $r = - 0.05$; $p > 0.05$. The results are interpreted in the context of the specificity of the adolescent period of growth.

Keywords:. attachment, formal operational thinking, adolescence.

1. УВОД

Афективна везаност подразумева специфичан однос који се у најранијем детињству успоставља између детета и примарног старатеља (најчешће мајке) и обезбеђује базу за даљи раст и развој особе [1]. У литератури се наводи да је емотивни однос мајке и детета у раном детињству, кроз формирање сигурног или несигурног обрасца афективне везаности, повезан са когнитивним развојем детета. На пример, сигурно афективно везана деца (у односу на несигурно афективно везане малишане) имају квалитетније и дуже епизоде симболичке игре, ефикаснија су и упорнија при решавању задатака и напреднија у развоју говора у раном детињству [2]. Рано формирани обрасци афективне везаности остају и током одрастања детета и обликују квалитет свих важних животних односа. У адолесценцији се квалитет односа између родитеља и деце мења, али породични односи остају и даље веома важни.

Жана Живковић Ранчић, Академија техничко-васпитачких струковних студија – Одсек Пирот, Ћирила и Методија 29, 18300 Пирот (имејл: zana.zivkovic.rancic@akademijanis.edu.rs).

Формалнооперационално мишљење представља завршни стадијум развоја мишљења који почиње у раној адолесценцији када настаје нов квалитет реверзибилности когнитивних операција [3]. Развој логичког мишљења, апстракције и метакогнитивног функционисања доводи до могућности уопштавања и интеграције искустава. Почетак формалнооперативног резоновања помаже адолесцентима да размишљају апстрактно, омогућавајући преиспитивање постојећих веза са родитељима. Са друге стране, стимулативност породичног окружења може да утиче на брзину јављања формалних операција [4].

Последњих деценија, узајамна повезаност емоционалног и когнитивног развоја у жижи је интересовања научне јавности. Већина истраживача у овој области сматра да сигурна афективна везаност утиче на поверење и склад у односима са значајним особама, на емоционалну регулацију, интерперсоналну компетентност, самопоуздање и отпорност на стрес, што би, посредно, могло доприносити когнитивном развоју појединца. Наиме, уколико дете припада сигурном обрасцу афективне везаности, то ће му омогућити да има поверење у спољашњи свет, да слободно истражује

околину и да има квалитетну комуникацију са окружењем [5]. На тај начин би сигурна афективна везаност могла да буде важан корелат интелектуалног и когнитивног развоја. Међутим, у појединим студијама није утврђена значајна веза између афективне везаности и интелектуалног развоја на раном узрасту [6], [7], а у доступној литератури мали број истраживања бави се односом афективне везаности и развоја формалнооперационалног мишљења на узрасту адолесцената [8]. Дакле, ограничен број студија које истражују поменуте конструкте на узрасту адолесцената, као и неконзистентност у резултатима, мотив су да се подробније позабавимо овом темом. Циљ овог рада је да се испита да ли постоји повезаност између димензија афективне везаности и степена развоја формално логичких операција и да ли је афективна везаност статистички значајан предиктор формалнооперационалног мишљења на адолесцентном узрасту.

2. МЕТОДОЛОГИЈА И РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Узорак је чинило 100 испитаника узраста од 18 до 24 године, 44 мушкараца и 56 девојака. Од инструмената су коришћени ревидирана верзија упитника Искуства у блиским односима [9], (*Experiences in Close Relationshipes*) која се састоји из две субдимензије: анксиозност и избегавање и Бондов тест логичких операција [10], (*Bond's Logical Operation Test*). Прикупљање података спроведено је током јануара и фебруара 2021. године путем *Google forms* упитника. За статистичку обраду података коришћен је програм SPSS верзија 23.0. Резултати су приказани у Табели 1.

Табела I *Пирсонов коефицијент корелације између димензија афективне везаности и скора на тесту формално-логичких операција*

Димензије афективне везаности	Бондов тест логичких операција
Анксиозност	***r* = - 0,15; *p* > 0,05**
Избегавање	***r* = - 0,05; *p* > 0,05**

На основу резултата који су приказани у Табели I закључујемо да повезаност између димензија афективне везаности и резултата на тесту формалнооперационалног мишљења није статистички значајна – коефицијент корелације између димензије *анксиозност* и скора на тесту формално-логичких операција износи $r = -0{,}15$; $p > 0{,}05$, док за димензију *избегавање* износи $r = -0{,}05$; $p > 0{,}05$.

3. ДИСКУСИЈА

Веза између когнитивног и емоционалног развоја предмет је интересовања научне јавности, а резултати досадашњих истраживања о односу између афективне везаности и интелектуалног развоја нису дали једнозначне резултате. Овај рад је имао за циљ да емпиријски провери везу између димензија афективне вазаности и степена развоја формално-логичког мишљења на узрасту адолесцената. У складу са релевантном теоријском грађом, пошли смо од претпоставке да сигурно афективно везани испитаници (дакле они са нижим скоровима на димензијама избегавања и анксиозности) имају боље когнитивне способности и самим тим очекивали смо веће скорове на тесту логичких операција. Међутим, ова хипотеза није потврђена. Овакав, помало неочекиван, резултат може се тумачити кроз призму специфичности адолесцентног периода одрастања. У адолесценцији млади пролазе кроз процес осамостаљивања и смањивања зависности од родитеља, формирају нове односе и социјалне улоге. Формирани обрасци афективних односа из детињства рефлектују се на друге односе, а веома често друге особе (вршњаци и партнери) преузимају улогу главних фигура везаности [11]. Поједини аутори адолесценцију посматрају као *другу сепарацију* током које млада особа развија идентитет независтан од родитеља, а након што је, као дете, током прве сепарације, у прве три године живота, развила појам о себи као одвојеном бићу од родитеља [12]. Овај процес уједно је прилика за резрешење конфликата из ранијих фаза за које до тада није било капацитета и за замену породичних одразаца новим обрасцима који ће чинити стабилнију, трајнију и флексибилнију структуру. Посебно када у односу између родитеља и детета постоје неразрешени конфликти, лоша комуникација или разочарење у родитеље, вршњаци и партнери постају главни извор ослонца. Одбацујуће стратегије и механизми, који се током адолесценције чешће јављају, имају за циљ да остваре дистанцу у односу са родитељима и омогуће формирање личног идентитета [13]. Осим тога, можемо претпоставити да се у основи постигнутог скора на тесту логичких операција налазе бројни сложени фактори (интелигенција и мотивација пре свега), те да димензије афективне везаности, саме по себи, нису значајан корелат.

На крају, имајући у виду слабости и ограничења самог истраживања - пригодан узорак, као и чињеницу да је истраживање спроведено онлајн, а сам тест логичких операција је прилично захтеван, добијене резултате треба прихватити као прелиминарне. Будућа истраживања у овој области би требало спровести на већем, по могућству, случајном узорку испитаника. Такође, истраживање потенцијалних медијатора односа између димензија афективне везаности и интелектуалног развоја изазов је за даљи истраживачки рад.

4. ЗАКЉУЧАК

Резултати истраживања показују да не постоји статистички значајна веза између димензија афективне везаност и степена развоја формално-логичких операција на узрасту адолесцената, те, самим тим се, на основу ових димензија, не може предвидети степен развоја формално-логичких операција. У светлу релевантне теоријске грађе овакав налаз није у потпуности очекиван, али се може тумачити специфичношћу адолесцентног периода одрастања. Премда родитељи и даље играју значајну улогу у животу адолесцената, дистанцирање од родитеља,

као примарних фигура афективне везаности, потпомаже процес формирања личног идентитета.

Ово истраживање представља својеврсну емпиријску проверу постојећих теоријских постулата који наглашавају узајамну повезаност емоционалног и когнитивног развоја, у чему се и огледа његов значај. Такође, обзиром на то да је адолесценција осетљив период у животу појединца, праћен квалитативним променама у когнитивном функционисању и социјалним релацијама, истраживање о повезаности когнитивног и афективног развоја могло би да допринесе разумевању значаја бурних процеса и промена које се дешавају на овом узрасту.

ЛИТЕРАТУРА

[1] J. Bowlby, Attachment and loss: Attachment (Vol. 1). New York: Basic Books, 1969.

[2] M. Main, "Exploration, Play and Cognitive Functioning Related to Infant-mother Attachment", Infant Behavior and Development, vol. 6, no. 2, pp. 167-174, 1983.

[3] J. Piaget, "Intellectual Evolution from Adolescence to Adulthood", Human Development, vol. 15, 1972.

[4] I. Stepanović, "Roditeljsko podsticanje formalno-operacionalnog mišljenja: jedan pokušaj operacionalizacije", Psihologija, vol. 39, no. 3, str. 313-326, 2006.

[5] L. Matas, R. A. Arend and A. L. Sroufe, "Continuity of Adaptation in the Second Year: the Relationship Between Quality of Attachment and Later Competence", Child development, vol. 49, pp. 547-556, 1978.

[6] E. Moss and D. St-Laurent, "Attachment at school age and academic performance", Developmental Psychology, vol. 37, no. 6, pp. 863, 2001.

[7] Y. Shmueli-Goetz, M. Target, P. Fonagy, and A. Datta, "The Child Attachment Interview: A psychometric study of reliability and discriminant validity", Developmental psychology, vol. 44, no. 4, pp. 939, 2008.

[8] B. Vukčević, "Afektivna vezanost i razvoj mišljenja u porodičnom kontekstu", Magistarski rad, Univerzitet u Nišu, Filozofski fakultet, 2009.

[9] N. Hanak, "Konstruisanje novog instrumenta za procenu afektivnog vezivanja kod adolescenata i odraslih", Psihologija, vol. 37, no. 1, str. 123–142, 2004.

[10] I. Stepanović, "Istraživanje formalno-operacionalnog mišljenja na uzrastu 14- 19 godina", Psihologija. vol. 37, no. 2, str. 163-181, 2004.

[11] J. P. Allen, The Attachment system in Adolescence. In: J. Cassidy & PR. Shaver (eds.). Handbook of Attachment. Theory, Research, and Clinical Applications, pp. 419-435. New York & London: The Guilford Press, 2008.

[12] P. Blos, "The Place of the Adolescent Process in the Analysis of the Adult", The Psychoanalytic Study of the Child, vol. 44, no. 1, pp. 3-18, 1989.

[13] M. Ammaniti, M. H. Van Ijzendoorn, A. M. Speranza and R. Tambelli, "Internal working models of attachment during late childhood and early adolescence: An exploration of stability and change", Attachment & Human Development, vol. 2, no. 3, pp. 328-346, 2000

КОМУНИЦИРАМ, ДАКЛЕ ПОСТОЈИМ
I COMMUNICATE, HENCE I EXIST

Марија Боранијашевић

Садржај – Као предмет истраживања у раду ауторка приказује концепт комуникације међу људима која представља основу свесности и главну карактеристику људске врсте. Најпре је дефинисано комуницирање као активност према различитим ставовима ауторâ у релевантној литератури, а након тога приказан историјски развој комуницирања. Акценат је стављен и на развој комуникационих способности човека од рођења до зрелог доба и употребу језика као универзалног симболског система и говора као конкретне манифестације у комуникационој пракси људи. Додатно, анализиран је значај комуникације у животима људи и наглашена чињеница да управо ова активност човека чини другачијим од осталих живих бића, чинећи интеракцију међу људима узвишенијом и напреднијом у односу на интеракцију која се обавља међу осталим живим бићима. Човек је посматран из два угла – као индивидуа и као друштвено биће. Коначно, разматрајући осећај отуђености услед недостатка комуникације, апострофиран је значај комуникације за сâм опстанак људске врсте као такве.

Кључне речи: комуницирање, човек, људска врста, опстанак.

Abstract – As a subject of research in this paper the author presents the concept of communication among people which represents the grounds of consciousness and the main characteristic of humankind. First, communication as an activity has been defined according to various oppinions of the authors in relevant literature. Then, the autor has presented the development of communication throughout history. The stress has also been put on the development of communication abilities of humans from birth to maturity and the use of language as a universal symbolic system and speech aa a specific manifestation in human communication practice. Additionally, the author has analized the significance of communication in people's lives and stressed the fact that it is this very activity that differenciates people from other creatures, making human interaction more sublime than the interaction among other living beings. A human has been observed from two angles – as an individual and as a social being. Finally, reconsidering the feeling of alienation due to lack of communication, the author has underlined the significance of communication for the very survival of humankind as such.

Keywords*:* communication, man, humankind, survival.

1. УВОД

Корене проучавања комуникационих односа можемо пронаћи још у античко доба и пратити присуство изучавања комуникације у склопу разних наука као што су теологија, психологија, социологија, лингвистика и социјална психологија, све до половине двадесетог века када и настаје комуникологија као наука о комуницирању. Иако је наука о комуницирању релативно нова дисциплина, вештина комуницирања је стара колико и људски род. Тачније, стара је колико и живот на земљи.

Према одређеним ауторима комуницирање није строго везано за човека као врсту. „Говорећи о комуникацији, мислимо на процес који се збива међу живим бићима и, макар у најелементарнијем виду, постоји код свих живих бића“ [1]. Комуникација се може приметити и у односима између животиња. Оне се налазе у сталној интеракцији, а међусобна комуникација, на ком год нивоу она била, неопходна је за њихову егзистенцију, јер „сваки организам, да би се одржао, поседује до извесног степена развијену способност да скупља и обрађује информације“ [1].

Овакав примитивни вид комуницирања, међутим, далеко заостаје за симболичким комуницирањем, највишим обликом комуникационе праксе који је својствен човеку. Управо „богатство и сложеност људске комуникације заснивају се првенствено на веома развијеном коришћењу симбола. Комуникација међу људима, за разлику од комуникације код животиња, пре свега је комуникација симболима“ [1].

Невербална комуникација је битан облик људске комуникационе праксе. Иако може имати и симболичку функцију, невербална комуникација, чије су главне одлике спонтаност и ненамерност, је углавном сигнална, тј. експресивна. Путем овог облика комуникације преносе се спонтане поруке о стању и осећањима комуникатора. Ако, пак, говоримо о намерно усмереним порукама пошиљаоца, тј. комуникатора, оне ће увек бити изражене неким од симболичких система, где неприкосновено место заузима језик који представља најразвијенији облик симболичке комуникационе праксе који се јавља код човека, за разлику од свих осталих живих бића, чинећи га супериорнијим и узвишенијим. „Захваљујући највише развијености симболичке функције и интезивном коришћењу симбола, првенствено изграђеном симболичком систему као што су људски говор и разни језици, човек је постао другачије, знатно моћније и развијеније биће од свих осталих врста живих бића“ [1].

Иако се по многим изворима комуникација у ширем смислу поистовећује са преносом информација између два субјекта, поједини аутори способност комуницирања приписују искључиво људском роду, сматрајући да стварне комуникације не може бити између осталих

Марија Боранијашевић, Академија техничко-васпитачких струковних студија – Одсек Ниш, Александра Медведева 20, 18000 Ниш (имејл: marija.boranijasevic@akademijanis.edu.rs).

живих бића. Према одредници у *Комуниколошком лексикону* „комуницирање је својствено искључиво човеку, јер је једини кадар да свешћу ствара информацију и да је материјализује у форми поруке. ... Способност стварања информација и њиховог симболског изражавања показује и доказује човекову свесност, најважнију одлику људскости, генеричку суштину људске врсте“ [2]. Независно од ове дефиниције комуницирања и његовог ограничавања само на људску врсту, неспорна је чињеница да је човеку говор иманентан, као и употреба језика као најсложенијег симболског система и највишег облика симболичке интеракције међу људима. „У смислу у којем одређује човека, будући у исти мах њиме одређен, људски језик је јединствена појава, и никакав други систем општења у живоме свету није му ни сличан“ [3].

Фердинанд де Сосир је такође признавао значај невербалних језичких система, али је сматрао да језик има привилегован статус „као систем знакова који изражавају идеје, и по томе је сличан писму, алфабету глувонемих, симболичким ритуалима, правилима пристојности, војним знацима итд., итд. Он је само најважнији од тих система“ [4].

Језик, као средство комуницирања својствен је само човеку као врсти. Он представља својеврсну спону међу људима и омогућава остваривање човека као друштвеног бића. Закључујемо да од језика зависи и опстанак људске заједнице и друштва, јер „језик је најважније средство друштвене комуникације. На њега утиче друштвена структура и сходно томе и он утиче на друштвени поредак“ [5]. Када се осврнемо кроз историју примећујемо да откад је човека, без обзира на епоху, расу или степен развоја цивилизације, језик је присутан. Без језика нема ни човека! Сви ови језици кроз историју, без обзира на њихову сложеност, лингвистички посматрано, били су и јесу: „сасвим пуноправни инструменти општења . . . сваки језик је прикладно и довољно средство за обављање комуникацијских потреба заједнице којој служи“ [3].

2. ОД ТАБУЛЕ РАЗЕ ДО КОМУНИКАТОРА

Од тренутка када угледа свет, новорођенче започиње комуникацију с њим и у њему. Већ први контакт с мајком, додир, мирис, први звуци који из околине допиру до њега чине да новорођенче започиње свој пут стицања вештине комуницирања. Како се свако људско биће рађа као табула раза, оно представља неограничен полигон за обликовање како у сваком другом смислу, тако и у комуникационом. Користећи плач, оно шаље мајци поруку да је гладно, мокро, да му је хладно или да му је једноставно потребна пажња. Осетивши мајчин додир, престаје да плаче, овим гестом шаљући повратну поруку мајци, стварајући контакт и остварујући прве комуникационе чинове у свом животу. Оваква прва размена информација представља само почетак дугогодишње комуникационе праксе коју ће новорођенче одрастајући усавршавати и усложавати. Управо „таквим интеракцијама родитељи и његоватељи постављају позорницу за дјететов будући друштвени развитак“ [6].

Са првим изговореним речима, особа из света невербалног комуницирања прелази у свет вербалног симболичког комуницирања. Савладавајући матерњи језик, дете сваким даном усавршава вештину вербалне комуникације са особама из свог окружења, константно напредујући као комуникатор.

Поставља се питање како деца уче да комуницирају. У литератури постоје бројна неслагања у вези с чињеницом како деца уче језик и његову употребу у свакодневним друштвеним ситуацијама, тј. како уче да комуницирају. Две основне супротстављене струје су бихевиористичка и когнитивистичка, где прва даје примат утицају средине и спољном надражају, док друга сматра да је комуникација последица унутрашње мисли. И док бихевиористи сматрају да деца уче језик јер су стимулисана наградом, припадници когнитивистичке струје износе мишљење да су деца природно предодређена за учење језика, тј. његово спонтано усвајање. Један од најистакнутијих критичара Скинера и бихевиористичког приступа, Ноам Чомски, узимајући као мотив брзину којом деца усвајају матерњи језик, сматра да је човеку способност усвајања језика урођена. Утицај средине се не занемарује у потпуности, али се своди на покретача унутрашњег записаног кода. По мишљењу овог научника, човек се рађа са такозваном „универзалном граматиком“, тј. системом граматичких принципа и правила која дају “скелетну структуру за било који језик” [7]. Тек правила генеративне граматике представљају систем правила која омогућавају формирање неограниченог броја нових реченица неког конкретног језика. Истина се, највероватније, налази негде између ова два екстремна гледишта усвајања језика и развоја комуникационих способности код деце. Људски род јесте природно предодређен за развој говора. Ипак, језик се не усваја у потпуности, већ ту на сцену ступа и компонента учења где деца бивају награђивана или кажњавана за правилно или неправилно коришћење језика. Тек у симбиози ове две компоненте, усвајања и учења, долази до комплетног и правилног савладавања матерњег језика. [8].

Кетлин Ридон, разматрајући начине на које деца уче да комуницирају, такође помиње да је развој комуницирања код деце спој откривања и подучавања и да када би се свео само на подучавање, родитељи би били најзаузетији људи на свету. Ауторка наводи три начина учења комуницирања без подучавања. Деца уче посматрањем у природним комуникационим ситуацијама кроз: „опонашање, проширивање-исправљање и категоризацију“ [6]. На овај начин, у кругу породице и окружењу најближих, деца савладавају прве кораке вештине комуницирања. Стога је, од изузетног значаја и жеља и спремност родитеља да се овом озбиљном задатку посвете у потпуности, јер од првих корака зависи даљи развој комуникационих способности деце и њихова успешност као одраслих комуникатора.

3. ЧОВЕК КАО ИНДИВИДУА И КАО ДРУШТВЕНО БИЋЕ

Човек је биће које ради и ствара, биће које је свесно и мисли, и, напослетку, човек је друштвено биће. Као друштвено биће, не би могао опстати ни функционисати ван заједнице са другим људским бићима. Потреба за контактом с другим људима и комуникацијом са њима је исконска и у човековој је природи. Од пећинског човека до савременог припадника дигиталне ере, ова чињеница се није променила. Потреба за комуницирањем није у вези ни са животном доби, као ни са статусом. Несавладиву потребу за контактом с другим људима има свака особа без обзира на њен ниво образовања, културолошку позадину или индивидуалне преференције. Стога, без комуникације не би било ни човека.

Особа комуницира у сваком тренутку свог живота, чак и када тога није свесна. У сну комуницира са својом подсвешћу, у тренуцима контемплације са својим унутрашњим ја, кроз интраперсоналну комуникацију, јер се „остварује нека врста унутрашњег дијалога, односно, индивидуалног понашања, које свесно бира самоћу и закључивање у тишини, понекад у молитви или интроспекцији" [9]. Константно, интерперсоналном комуникацијом, особа комуницира са својим ближњима у породици или некој другој примарној групи. „Институционализовано образовање увек је нека од форми групног комуницирања, што се може рећи и за сваку политичку, културну, спортску или какву другу јавну манифестацију; читањем књиге или новина, слушањем радија, гледањем филма или телевизије појединац учествује у масовном комуницирању; најзад, сурфујући Интернетом, учествујући у некој од мрежних конференција/форума или шаљући електронску пошту, технички врло софистицирано, људи такође комуницирају" [10].

Као *zoon politikon* још по речима Аристотела, односно друштвено биће, човек као врста тежи контакту с другим људима и не може функционисати ван људске заједнице. Људи, стога, „увек теже заједништву, а избегавају изолацију. Сходно томе, одбацивање појединца од стране друштва, или неке уже групе, представља казну која има и свој комуниколошки назив – екскомуникација" [10]. Није случајно, онда, што је казна за криминалне преступе затвор, а за оне најозбиљније самица. Преступници су у овом случају лишени слободе и сваког контакта како са својим ближњима, тако и са другим људима уопште. У оваквим ситуацијама затвореници прибегавају интраперсоналној комуникацији – комуникацији са самим собом као једним могућим обликом комуникационе праксе у тим условима. Овај положај осликава жељу затвореника за контактом са другим људима и остварењем комуникације, јер је ова потреба исконска.

Особина која људе чини другачијим од осталих живих бића је та што је човек свесно биће које ради и непрестано комуницира. „Ово рађање човека можда је трајало стотинама хиљада година, али оно што је важно то је да је настала нова врста која превазилази природу, да је живот постао свестан самог себе" [11].

Груписање у скупине није својствено само човеку као врсти већ и другим живим бићима, с тим што се ово груписање дешава на другом принципу и сходно природним законима и условљавању. Људске скупине се разликују од ових по томе што се групишу из потребе за контактом, комуницирањем и све више, кроз историју, одвајају се од закона природе. Тако, од првих племена заснованих на родним и крвним везама, па све до модерних цивилизацијских друштава, људске заједнице све мање зависе од закона природе, а све више се темеље на употреби језика и комуникацији међу њеним члановима.

4. ОСЕЋАЈ ОТУЂЕНОСТИ УСЛЕД НЕДОСТАТКА КОМУНИКАЦИЈЕ

Човек се не рађа као личност већ то постаје под утицајем различитих биолошких, наследних и социјалних фактора. Ипак, као свесно биће има осећај о свом постојању, „свест о усамљености и издвојености, о беспомоћности пред силама природе и друштва – све то чини његову издвојену, отуђену егзистенцију неподношљивим затвором" [12]. Овај осећај издвојености ствара изразиту тескобу и непријатност код индивидуе. Особа се осећа спутано и жели да побегне од овог осећаја асимилујући се с другим људима, јер, најзад, човек је друштвено биће које константно тежи контакту с другим људима како би остварило комуникацију с њима. Ова човекова потреба да превазиђе осећај изолованости и отуђења је у људској природи. Ради се о исконској потреби човека за контактом са другим људима на чије место не може доћи супституит у виду виртуелног комуницирања на друштвеним мрежама уз помоћ модерне технологије.

С обзиром да живи и ради у савременом свету опремљеном последњим технолошким достигнућима, човек и сам почиње да функционише као технологија. Начин живота се мења, производња се убрзава. За обављање послова потребно је мање времена него што је то био случај са застарелом технологијом. И људи почињу да функционишу као машине. Покушавају да сместе што више обавеза у мање времена. Након напоног и продуктивног радног дана поново покушавају да обављају више послова истовремено, нпр. причајући телефоном док припремају оброк и, у паузи, радозналом детету објашњавају како свет функциуонише, а све време у позадини свира музика или се са малих екрана чује тон. А након тога, када се суоче са слободним временом које треба посветити себи, нису у стању да га искористе на адекватан начин, већ га поново проводе у претраживању интернета, на тзв. друштвеним мрежама или уз медије масовног комуницирања и емисије које су испод сваког нивоа квалитета, попут ријалити програма који су више него присутни на малим екранима последњих година, којима, уосталом, сам натив све мање одговара будући да су све већих димензија. У оваквој реалности Орвелова 1984. оживљава у пуном маху са неколико деценија закашњења.

Са нереалним бројем пријатеља на разним друштвеним мрежама, појединац се све више удаљава од стварних људи и стварног света и остварује комуникацију у сајбер простору, која за већину чини доминантни облик комуникационе праксе. Ово отуђење од других људи није једини нусефекат прилагођавања модерном начину живота. Оваквим функционисањем човек се све више удаљава од самог себе, од своје суштине, од свог ја. Исконска људска потреба за комуницирањем бива осујећена и човек лута као зомби у некој квазицивилизацији, водећи псеудоконверзацију уместо остварења почетног циља: успостављања контакта с другим људима и остварења квалитетне комуникације с њима. Штавише, појединац постаје неспособан да оствари чак и интраперсоналну комуникацију, а без комуникације нема ни човека.

5. ЗАКЉУЧАК

Првобитна замисао била је да овај рад садржи и резултате спроведеног искуственог истраживања у виду анкете у вези са комуникационим навикама становништва различитих образовних профила и различитих старосних доби како би узорак био што разноврснији. Ипак, с обзиром да је обим рада, сходно техничким упутствима, био ограничавајући фактор, није било могуће укључити их у текст самог рада, те ће закључци бити изведени на основу теоријске анализе, а резултати спроведеног истраживања биће објављени као део неке друге студије у будућности.

На основу презентованог можемо закључити да без комуницирања нема ни живота. Комуникација је стара колико и људски род и неодвојиви је део живота сваке индивидуе. Свака особа, у сваком тренутку свог живота, свесно или несвесно, комуницира на више нивоа: интраперсоналном, интерперсоналном, групном и масовном. Од вештине комуницирања увелико зависи и успешност поруке коју комуникатор упућује. Успешност поруке ништа мање не зависи ни од мотивације примаоца поруке, јер, без обзира на компетентност пошиљаоца, размена информација је двосмерни процес од кога зависи успешност емитоване поруке.

Модеран, убрзани начин живота и рада утиче на промену комуникационих навика појединаца. Најсавременија технолошка достигнућа олакшавају обављање свакодневних и радних обавеза док, с друге стране, негативно утичу на комуникацију међу људима. Модеран човек све мање учествује у живој комуникацији, јер савремена технологија у виду паметних телефона, рачунара и сличних уређаја преузима улогу посредника. Људи се све више удаљавају једни од других; осећај отуђења је све израженији. Када се коначно суоче са слободним временом, они не знају шта би с њим. Нису способни да се понашају у оваквим ситуацијама и проведу одређени временски период са собом и својим мислима. То су, управо, први знаци отуђења, али не само од других људи, које је већ увелико присутно, већ и од себе самих. Појединац постаје отуђен од своје суштине, свог унутрашњег ја. Вођење интраперсоналне комуникације постаје тешко достижан, готово неухватљив циљ. А када комуникација затаји, доводи се у питање само постојање појединца, јер без комуникације нема ни човека.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Рот, Знакови и значења, Београд: Плато 2004.

[2] М. Милетић и Н. Милетић, Комуниколошки лексикон, Београд: Мегатренд универзитет 2012.

[3] Р. Бугарски, Увод у општу лингвистику, Београд: Чигоја 1996.

[4] Ф. Де Сосир, Курс опште лингвистике, Сремски Карловци, Нови Сад: Издавачка књижарница Зорана Стојановића 1996,

[5] J. Јанићијевић, Комуникација и култура, Сремски Карловци, Нови Сад: Издавачка књижарница Зорана Стојановића 2000.

[6] K. Reardon, Kathleen, Interpersonalna komunikacija, Zagreb: Alinea 1998.

[7] Н. Чомски, Граматика и ум, Београд: Нолит 1972.

[8] S. D. Krashen, Principles and Practice in Second Language Acquisition, Oxford: Pregamon Press 1982.

[9] М. Павловић и М. Алексић, Односи с јавношћу, Београд: Мегатренд универзитет 2011.

[10] М. Радојковић и М. Милетић, Комуницирање медији и друштво, Београд: Учитељски факултет, Универзитет у Београду 2008.

[11] Е. Фром, Здраво друштво, Београд: Издавачко предузеће "Рад" 1963.

[12] Е. Фром, Умеће љубави, Београд: Моно и мањана 2008

САВРЕМЕНА ПРИЧА ЗА ДЕЦУ У ФУНКЦИЈИ РАЗВОЈА КРЕАТИВНОСТИ

A CONTEMPORARY CHILDREN'S STORY IN THE FUNCTION OF CREATIVITY DEVELOPMENT

Јелена Вељковић Мекић

Садржај – Рад тежи да прикаже основне књижевно-теоријске одлике савремене приче за децу и да укаже на њене потенцијале за развој креативности код деце, младих и одраслих. Евидентно је да масовна упореба средстава савремене технологије утиче на смањење интересовања за читање, промишљање о прочитаном и оваплоћење читалачког доживљаја кроз неки вид стваралаштва. Аутори чије ће приче бити предмет анализе овог рада су Сузан Пероу, Љубивоје Ршумовић, Игор Коларов и Дејан Алексић. Поетика игре ових аутора намеће сложенију, комплекснију и разноврснију комуникацију са децом-читаоцима, те њихове приче делују подстицајно на развој креативности деце и одраслих у областима језичког, ликовног и драмског стваралаштва.

Кључне речи: Савремена прича за децу, развој креативности, Сузан Пероу, Љубивоје Ршумовић, Игор Коларов, Дејан Алексић.

Abstract – This paper aims to present the fundamental literary-theoretical characteristics of contemporary children's stories and to highlight their potential for fostering creativity in children, adolescents, and adults. It is evident that the widespread use of modern technology negatively affects interest in reading, reflection on what has been read, and the embodiment of the reading experience through some form of creative activity. The authors whose works are representative examples of contemporary children's stories, and whose stories will be analyzed in this paper, are Susan Perrow, Ljubivoje Ršumović, Igor Kolarov, and Dejan Aleksić. The poetics of play in these authors' works encourages a more complex and diverse communication with children as readers. Their stories fostering creativity in children and adults in the areas of linguistic, visual, and dramatic creation.

Keywords: Contemporary children's story, creativity development, Susan Perrow, Ljubivoje Ršumović, Igor Kolarov, Dejan Aleksić.

1. УВОД

Имајући у виду укус савремених читалаца, стил урбаног и ужурбаног живота и проблеме са којима се суочавају деца, млади, васпитачи и родитељи, покушаћемо да жанр приче сагледамо као „решење" за релаксацију, идентификацију и креативни подстицај. Аутори чије стваралаштво представља репрезентативне примере савремене приче за децу и чије ће приче бити предмет анализе овог рада су Сузан Пероу (Susan Perrow), Љубивоје Ршумовић, Игор Коларов и Дејан Алексић. Овим радом одговорићемо на питање којим књижевним одликама њихове приче могу утицати на развој креативности деце и одраслих у различитим областима стваралаштва.

2. ЛЕКОВИТЕ ПРИЧЕ СУЗАН ПЕРОУ

У књизи *Лековите приче за лакше и срећније одрастање* (2018) Сузан Пероу читамо осамдесет веома инспиративних прича, написаних с циљем да помогну деци са проблематичним понашањем. Списатељица је искористила своје лично искуство мајке и учитељице, као и вишедеценијско искуство у вођењу семинара и радионица за писање прича, као би издала књигу која обједињује збирку прича и приручник за писање и приповедање прича.

Јелена Вељковић Мекић, Академија техничко-васпитачких струковних студија – Одсек Пирот, Ћирила и Методија 29, 18300 Пирот (имејл: jelena.veljkovic.mekic@akademijanis.edu.rs).

Поред старих бајки из различитих култура и њених ауторских прича, ова књига је уједно и водич кроз могући стваралачки процес писања прича, са многобројним смерницама, упутствима и саветима за читаоце и потенцијалне писце и приповедаче.

Ауторка својим причама покушава да утиче на проблематично понашање деце (*Приче за изазовно понашање*), као и да им помогне у неким специфичним животним ситуацијама које могу да доведу до трауматичног искуства (*Приче за захтевне прилике*). Њене приче су, пре свега, намењене деци старости од треће до осме године, мада списатељица указује на то да оне могу снажно деловати и на старије реципијенте. Ипак, Сузан Пероу упозорава да оне нису „чаробне пилуле за лечење и решавање свих тешкоћа и изазова" [1]. Њен циљ је да позитивним примером својих прича мотивише и охрабри родитеље, учитеље и терапеуте да региструју проблемска стања код деце и да стварају сопствене приче које би потом читали тој деци. Свесна великог дејства рима и стихова на мале читаоце, Пероуова ствара и стихове у причи и приче у стиху, успаванке и дечје песмице. Од осталих књижевних жанрова у *Лековитим причама* проналазимо и наративне цртице, кумулативне и бесмислене приче, приче о природи и приче из свакодневнице, народне приче и бајке.

Модел за конструисање прича Сузан Пероу је веома једноставан, те је претпоставка да будући аутори неће имати потешкоћа у креирању својих прича. Структура приче се састоји из три етапе: *Метафоре*, *Путовања* и *Расплета*. Ауторка је увидела велики значај метафоре,

како у песничкој уметности, тако и у свакодневном животу, и сматра је „клицом за зачетак приче", али и снагом која дете преводи у свет маште. *Путовање* је заслужно за сам ток приче, јер води радњу кроз стање неуравнотеженог понашања до расплета и поновног успостављања равнотеже. *Расплет* је у интерпретацији ауторке увек позитиван, без нејасноћа и његов је задатак да успостави хармонију и равнотежу. Перуова не жели да код деце изазове осећај кривице, те су њени завршеци готово увек такви да изостављају казну. Ипак, међу њеним причама читамо и оне које назива причама са „последицама", поучне приче које имају правичан и исправан завршетак, а писане су с циљем да дете научи лекцију да свако непримерено понашање има своје последице.

У завршном плану књиге, ауторка указује на важност самог приповедачког чина, тј. указује на пожељне технике приповедања. Предност, у односу на читање, даје приповедању као непосреднијем чину, који стимулише слушаоца да ствара менталну слику приче и напомиње да су за приповедачки чин пресудни и место, публика, сам начин приповедања, реквизити и сл. После кратког закључка приложене су табеле за лакше планирање, скицирање и приповедање прича које би итекако могле бити од користи будућим приповедачима. „Пероуова одлично запажа везу између искуства, маште и приповедања. Машту узима за конструктивни елеменат сваке приче и истовремено истиче моћ приче да утиче на дечју машту." [2] Посебну важност у рецепцијском чину имају идентификација и процес свесне самообмане, односно (донекле) свесно пристајање на *лаж* књижевне *истине*, јер без њих „оздрављење" не би било могуће.

3. КРЕАТИВНЕ ПРИЧАНКЕ ЉУБИВОЈА РШУМОВИЋА

Љубивоје Ршумовић је широј читалачкој публици много познатији као песник него као писац прозе. Такође, Ршумовићева проза је донекле неправедно, у односу на његову поезију, остала на маргинама изучавалаца књижевности за децу. Уочивши велики потенцијал његових прича за креативне радионице са децом, изабране су његове три збирке прича, *Причанка* (1967), *Сунчање на месечини* (2010) и *Видовите приче* (2013), као предмет анализе овог рада.

Најстарија Ршумовићева збирка прича под називом *Причанка* [3] изненађује атрактивношћу и пријемчивошћу за актуелни тренутак. Упуштајући се у дијалог са традиционалним књижевним жанровима аутор разобличава њихове устаљене обрасце и тиме разбија читаочев хоризонт очекивања. Жанр басне препознатљив је у осавремењеним верзијама, као што су „Прича о гаврану и лисици" и „Освета лисице Лукације", које могу бити подстицај за лутка-игре са децом предшколског и млађег школског узраста. Приче „Сто столова и шупља фиока", „Одлазак улазних врата", „Субота никад не долази сама" и „Како се кишобран провео код падобранца" засноване су на правилу анимизма, те могу бити инспиративне за говорне и ликовне радионице, као што су, на пример, измишљање нових необичних предмета, приписивање магичних моћи постојећим и обичним предметима или комбиновање апсурдних говорних и/или мозаичних ликовних стилова и техника.

У збирци прича „Сунчање на месечини", поред веома занимљивих историјских и легендарних личности стављених у контекст *ршумовске* маште и проницљивости, веома је упечатљиво инвентивно и духовито језичко стваралаштво. Посебно занимљив пример неологизма читамо у реченици: „Истина је да је његово питање звучало крелативно, а не креативно и не релативно, како је он желео" [4]. Стевановићева примећује да су у овој збирци, осим примера *крелативно*, сви други неологизми настали „извођењем од глагола помоћу нултог суфикса. Тако у овој збирци налазимо на следеће неологизме: прозбор, заврз, одврз, шандрц, умук, зуц, испрд, мрм, натрус, загрц, јав, шеврд, шепур, трабуњ, цака, брб, чаврљ, настале од глагола који у основи означавају неки начин говорења (прозборити, умукнути, зуцнути, мрмљати и сл.) или уопште звучања." [5]

У збирци *Видовите приче* читамо о авантурама дечака Вида и његовим упечатљивим сусретима са Чворком, Чудноватим створом, мачором III, Совом, јежом Божидарем и многим другим маштовитим ликовима. Вид се не стиди незнања, не воли да одговара на лака питања, али зато воли да поставља најчудноватија и веома га је тешко изненадити. Оно што ову збирку чини пожељном литературом за развој језичке и драмске креативности јесте честа употреба занимљивих речи, пуно дијалошких партија и ликови који су инспиративни за подражавање. И у овој збирци прича Ршумовић се показао изврсним творцем неологизама, те, између осталих, читамо ове: *људови*, *звекови*, *натпаметити*, *скакавичасто* и *двосамљеност* [6]. Дијалози ових прича су врцави, елиптични, језгровити, апсурдни, неочекивани и духовити. Такође, Вид се често поистовећује са онима који су у невољи и помаже им, што може позитивно деловати на развој емпатије и позитивног односа према свету који нас окружује.

4. НЕОБИЧНЕ ПРИЧЕ ИГОРА КОЛАРОВА

Стваралаштво Игора Коларова и даље представља енигму за читаоца и тумача. Он често збуњује реципијента брисањем уобичајених жанровских граница и позивом на партнерство у комуникацијској игри. У појединим његовим причама реципијент се укључује у стваралачку игру у току самог читалачког акта. Репрезентативни пример тога јесте његова прва збирка прича *Приче о скоро свему* (2005) која често захтева интервенцију читаоца како би прича била потпуна или заокружена („Прочитај ме", „Велика прича", „Жиле стиже помоћ"). Највећи удео реципијента се очекује у причи без наслова и са страницом која је испуњена линијама за писање приче, док је удео аутора минималан, свега једна реченица у виду завршног коментара као процене написаног: „Хм, мљац-мљац, морам да признам, мљац, написали сте, мљац-мљац, одличну причу!" [7].

Игровни принцип *недовршености* присутан је и у *Џепним причама* (2010). У неким причама писац захтева опис нечега од читаоца – нпр. у причи „Флоријана као славуј" читалац има задатак да опише како Флоријана пева, док прича „Цвеће" захтева описивање маслачка, љубичице, руже и висибабе [8]. „Ипак, игровни принцип *недовршености* књижевне структуре потребно је схватити само условно, јер се подразумева да писац није случајно изоставио одређене речи или стихове, већ је управо њиховим неименовањем и пребацивањем лопте' реципијенту, заокружио стваралачко-прималачки чин." [9] Дајући јој лични печат, коаутор-дете чини причу животнијом и аутентичнијом. Зато се Хогару Страшном у потпуности верује када каже да је лепо бити у овој причи зато што у њој мирише као у цвећари, а коју је дете-читалац креирало. Већину интерактивних прича Игора Коларова је пожељно читати у друштву, предшколској деци или деци раног школског узраста, док неке захтевају већи број коаутора. „Прича коју пише цела породица и остали" започиње једном реченицом, а потом се наводе сви они који би требало да учествују у њеном даљем обликовању (мама, тата, бака, мачка (уколико уме да говори) или председник кућног савета), док последњу реч има дете које је и започело причу што је додатни изазов за примарног реципијента, али и похвала његовој имагинацији и умешности приповедања. Неким причама недостаје почетак, као што је случај са причом „Не дирај зеку док учи француски језик", некима крај, као у причама „Гилетов бицикл" и „Чудан дан, скроз!" или и почетак и крај што илуструје прича „Ловац на диносаурусе".

Збирка *Клизаве приче* (2013) потврђује пишчеву склоност ка хумору и умешност у креирању ефектних досетки. У причи „Светска чуда и ја" битну улогу игра *коментар* приповедног субјекта заснован на личном доживљају, искуству, сећању, асоцијацији, индивидуалном тумачењу или осећају. На пример, фрагмент под редним бројем 4 гласи овако: „Трептај ока траје 0,3 секунде. (То је, отприлике, за око 0,2 секунде дуже од великог одмора у школи.)" [9]. Најдужа прича у овој збирци после краћег увода о необичном Бернту Лабукту и расејаном Игору Коларову доноси фрагменте из њиховог, већим делом, апсурдног разговора. Игра на којој се заснива повезаност полу-нонсенсних реплика може се дефинисати као асоцијација, духовита доскочица, али и семантичка играрија која се заснива на скретању пажње са битног на небитно, недореченошћу, сродностима буквалног и метафоричног контекста или потпуном заокрету у нонсенс: „ЛАБУКТ: Са чиме бисте упоредили кратку причу за децу? КОЛАРОВ: Са веверицом. ЛАБУКТ: Да ли сте некад прогутали веверицу? КОЛАРОВ: Не, верујем да нисам. ЛАБУКТ: Ја јесам. Има исти укус као ја кад ме прогута жирафа која носи црвене чарапе." [9].

5. ДУХОВИТЕ И ПАМЕТНЕ ПРИЧЕ ДЕЈАНА АЛЕКСИЋА

Алексићеве збирке прича *Музика тражи уши* (2008), *Кога се тиче како живе приче* (2014) и *Мало-мало па слон* (2021) одушевљавају лакоћом приповедања, јасним али игривим језиком, перспективом посматрања догађаја и необичношћу ликова. Језик асоцијација понекад нагони писца-песника да опредмети ток својих мисли кроз стихове, те читамо овакве поетске излете: „И тако, закључи кључ, без обмане и лажи: брава мора да се тражи. А то је тек мука, то је тек страва, јер не расте на дрвету брава. Није брава брава за бадава." [10] У Алексићевим причама има посве необичних ликова, као што су мољац угоститељ, одлутали нос, изгубљене укоснице, одбегла цртица, клемпава кућа, слон који је настанио ципелу, мува која се *мува* по дечаковој глави... [11] Писац инспирише читаоца и на визуелном плану: гињол лутка, 88 слонова, крава са погрешном шаром и сличне слике-загонетке нагоне децу да замишљају оно што писац сугерише, али и да надограђују његове замисли и дају им лични печат.

„Збирка *Кога се тиче како живе приче* интригантним приповедачким поступком остварује интерактивност и фамилијарност прича и омогућава да нам се оне обелодањују као живе и неретко независне од свог творца. Рецепцијска игра се у случају ове збирке заснива на дијалозима које аутор води са читаоцима, али и са својим причама, те на његовој улози посредника и тумача самовоље, хирова и необичних афинитета појединих прича." [12] Претходно речено доказују „Уводна прича" која то није желела да буде, „Алергична прича" која лоше реагује на читаоце и „Прича која не уме да заврши саму себе" која у самоироничном осврту открива немоћ да дође до свог краја. [13] Најупечатљивији пример јесте прича „Прича која бежи", чији се само наслов налази на страници књиге, а читалац може да је прочита тако што ће послати мејл са насловом ове приче и добити одговор-причу, да је одштампа и „врати" у књигу. А када на њеном крају прочитамо: „А о чему се ради у тој Причи која бежи? Ко би то могао знати… Давно сам од једног веома начитаног и мудрог старца чуо да је та прича толико брза у бежању да и највештији читаоци стигну да прочитају тек неколико речи: У давна, прадавна времена… Ипак, верујем да ће свако ко вредно и много чита једном успети да је прочита целу", не можемо да се не насмешимо и да не признамо аутору мудру игру којом изненађује своје читаоце и којом их мотивише на нове читалачке авантуре. Алексић понекад остварује везу између две или више прича. На пример, прича „Златна рибица" представља увод у другу под називом „Три жеље", док је повезаност прича „Прича о рупи" и „Прича која се чита када се вири кроз Рупу у ‚Причи о рупи'" појачана визуелним ефектом рупе на последњој страници прве приче кроз коју се заиста читају редови друге.

Рецепција Алексићеве кратке прозе одиграва се у три етапе: 1. изненађење или зачудност, 2. дешифровање перспективе, 3. ре-осмишљавање. Прва етапа подразумева мотивацију читаоца на тај начин што ће изазвати зачудност код њега, а то аутор постиже ефективним изјавама о необичним склоностима и радњама својих ликова, изненађујућим догађајима или директним обраћањима у виду питања или провокација везаних за читаочев живот. Друга етапа реализује се кроз онеобичавање перспективе или мењање тачке гледишта, што води ка преиспитивању или декодирању пређашње

семантике текста. Ова етапа може садржати кôд којим се открива у ком кључу треба читати причу или лажни кôд којим ће претходно приповедање бити обесмишљено. Трећа етапа се углавном оваплоћује као недовршена прича или лажан крај, те захтева од реципијента преосмишљавање или доосмишљавање. Овако би изгледало рашчлањивање приче „Ремек-дело" на поменуте етапе: 1. изненађење да се обична оловка заљубила у наранџасти фломастер; 2. увид у различите перспективе: фломастерова жеља да нацрта наранџасту коцкасту шљиву и духовите посматрачке варијанте школског прибора и 3. одсуство класичног завршетка: прича се прекида у тренутку када се назире расплет, тачније, када фломастер појури за оловком желећи да јој изјави љубав.

Код Алексићевих прича комуникација са младим читаоцем одвија се у потпуном разумевању према саговорнику који стално користи рачунаре, интернет и смарт телефоне, али који и даље има „исконску потребу за игром и причом" [14], те из тих разлога оне могу бити подстицајне за развој креативних потенцијала реципијената у различитим видовима стваралаштва.

6. ЗАКЉУЧАК

Лако се намеће закључак да сваки од анализираних аутора има специфичну поетику којом се обраћа деци, младима, али и зрелим читаоцима. Списатељица Сузан Пероу је својим збирком *Лековите приче за лакше и срећније одрастање* донела један нови начин посматрања приче као жанра који може утицати на емотивно и интелектуално сазревање и/или оздрављење деце, али је уједно сачинила и приручник за стваралачки процес писања прича, којим тежи да подстакне родитеље и васпитаче да пишу своје приче и прилагоде их детету којем су намењене. Љубивоје Ршумовић се у својим причама открива као маштовит, разигран и луцидан аутор, те се оне могу употребљавати у многим креативним активностима са децом. Приче Игора Коларова илуструју својеврсну поетику кратке прозе као фрагмента, доскочице, загонетке и/или недовршеног списа која подразумева имплицитног читаоца као саговорника, партнера, а понекад и као коаутора. Одговор имплицитног читаоца је увек индивидуалан, те дајући причи лични печат чини причу животнијом и аутентичнијом. Збирке прича Дејана Алексића засноване на апсурду, онеобичавању и хумору, плене дечју пажњу, а одрасле нагоне да промишљање и трагање за оним што није експлицитно речено. „Запитаност над причом" је нешто што би се могло регистровати као једна од доминантних одлика Алексићеве поетике будући да од самог почетка до пост-читалачког момента аутор захтева пуну пажњу читаоца и афирмише његову партнерску улогу.

Реципијентима ових прича се упућују захтеви да буду емотивно ангажовани, промишљени, отворени ка изазовима, авантуристички оријентисани и креативни. Поетиика игре ових аутора намеће сложенију, комплекснију и разноврснију комуникацију са читаоцима, те њихове приче делују подстицајно на развој креативности деце и одраслих у областима језичког, ликовног и драмског стваралаштва.

ЛИТЕРАТУРА

[1] С. Пероу, Лековите приче за лакше и срећније одрастање, Златибор: Ковачница прича 2018.

[2] Ј. Вељковић Мекић, „Структура и семантика *Лековитих прича за лакше и срећније одрастање*", Детињство: Часопис о књижевности за децу. Година XLVII, број 2, стр. 111-123, 2021.

[3] Љ. Ршумовић, Причанка, Београд: Младо поколење 1967.

[4] Љ. Ршумовић, Сунчање на месечини, Београд: Лагуна 2010.

[5] Ј. Стевановић, „Неологизми као стилско обележје прозе Љубивоја Ршумовића", У Књижевно дело Љубивоја Ршумовића. Ужице: Педагошки факултет, 2019, стр. 421-428.

[6] Љ. Ршумовић, Видовите приче, Београд: Лагуна 2013.

[7] И. Коларов, Приче о скоро свему, Београд: Завод за уџбенике 2005.

[8] И. Коларов, Џепне приче, Нови Сад: Дневник 2010.

[9] И. Коларов, Клизаве приче, Чачак: Пчелица 2013.

[10] Д. Алексић, Мало-мало па слон, Краљево: Удружење „Имам идеју" 2021.

[11] Д. Алексић, Музика тражи уши, Београд: Креативни центар 2008.

[12] Ј. Вељковић Мекић, „Поетика игре: савремене приче за децу Игора Коларова, Уроша Петровића и Дејана Алексића", У Савремено предшколско васпитање и образовање – тенденције, изазови и могућности, Ужице: Универзитет у Крагујевцу, Педагошки факултет, 2023, стр. 283-292.

[13] Д. Алексић, Кога се тиче како живе приче, Београд: Креативни центар 2014.

[14] Ј. Љуштановић, „Прича и причање као игра у кратким причама за децу Душана Радовића и Дејана Алексића", У Књижевност за децу у науци и настави. Јагодина: Факултет педагошких наука Универзитета у Крагујевцу, 2014, стр. 501-511.

ULOGA MODALA U KOMUNIKACIJI ČOVEK–VEŠTAČKA INTELIGENCIJA U SAVREMENIM DISTOPIJSKIM NARATIVIMA: ANALIZA PRIPOVEDAKA „THE PERFECT MATCH", „BETTER LIVING THROUGH ALGORITHMS" I „REAL ARTISTS"

THE ROLE OF MODALITY IN HUMAN–ARTIFICIAL INTELLIGENCE COMMUNICATION IN CONTEMPORARY DYSTOPIAN NARRATIVES: AN ANALYSIS OF THE SHORT STORIES "THE PERFECT MATCH," "BETTER LIVING THROUGH ALGORITHMS," AND "REAL ARTISTS"

Sanja Petrović

Sadržaj – Ovaj rad istražuje ulogu modalnih iskaza u komunikaciji čoveka i veštačke inteligencije u distopijskim pripovetkama: „The Perfect Match" i „Real Artists" Kena Liua, i „Better Living Through Algorithms" Naomi Kricer. Modalni glagoli, iako gramatički neutralni, oblikuju ponašanje pojedinaca i kolektiva. U „The Perfect Match" Tili koristi „you should" i „you must" da preuzme autoritet nad odlukama. U „Real Artists" AI sugestivno usmerava umetničke odluke, dok u „Better Living Through Algorithms" modalnost služi da disciplinuje pojedince i smanji prostor za lični izbor. Analiza kombinuje pragmatičku i diskurzivnu perspektivu, identifikujući epistemičku, deontičku i dinamičku modalnost i njene funkcije, pokazujući kako gramatičke strukture reflektuju moć i disciplinu. Fikcija služi za razumevanje uticaja AI na komunikaciju i odluke.

Ključne reči: modalnost, komunikacija, veštačka inteligencija, distopijska proza, moć.

Abstract – This paper examines modal expressions in human–AI communication in dystopian short stories: *The Perfect Match* and *Real Artists* by Ken Liu, and *Better Living Through Algorithms* by Naomi Kritzer. Modal verbs, though grammatically neutral, shape individual and collective behavior. In *The Perfect Match*, AI Tilly uses "you should" and "you must" to control decisions. In *Real Artists*, AI subtly guides artistic choices, while in *Better Living Through Algorithms* modality disciplines individuals, limiting personal choice. The study combines pragmatic and discourse analysis, highlighting epistemic, deontic, and dynamic functions, showing how grammatical structures reflect power and discipline. Fiction frames AI's impact on communication and decision-making.

Keywords: modality, communication, artificial intelligence, dystopian prose, power.

1. UVOD

Savremena distopijska fikcija predstavlja prostor u kojem se ispituju odnosi moći, algoritamske kontrole i ljudske subjektivnosti, a jedan od najpreciznijih jezičkih mehanizama kroz koje se ti odnosi artikulišu jeste modalnost. Modalna značenja – mogućnost, obaveza, verovatnoća i dozvola – u distopijskim narativima deluju ne samo kao gramatičke kategorije već i kao sredstva oblikovanja poželjnog ponašanja i disciplinovanja subjekata u tehnološki nadziranim okruženjima. Analizirane pripovetke prikazuju tri različita modela zavisnosti od algoritamskih sistema: Saija, čiji život gotovo u potpunosti usmerava personalizovani asistent Tili korporacije Sentilion (The Perfect Match); Sofi, umetnicu koja otkriva da filmska korporacija Semafor prepušta ključne kreativne procese naprednom algoritmu zvanom Veliki Semi (Real Artists); i Lineu, korisnicu aplikacije Abelik koja „optimizacijom" ponašanja utiče ne samo na pojedinca, već i na čitavu zajednicu (Better Living Through Algorithms). Polazište rada jeste da modalnost u ovim narativima funkcioniše kao diskurzivni instrument algoritamske moći i kontrole, presudno oblikujući perceptivne i delatne granice likova.

Sanja Petrović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: sanja.petrovic@akademijanis.edu.rs).

2. TEORIJSKI OKVIR

U okviru savremene lingvistike, modalnost se najčešće određuje kao gramatičko-semantička kategorija kojom govornik izražava različite oblike irealisa – iskaza koji se ne odnose na stvarnost onakvu kakva jeste, već na mogućnost, obavezu, želju, verovatnoću ili nužnost neke situacije [1]. Modalni glagoli deluju kao „metafore fizičke sile", jer putem jezičkih sredstava simuliraju pritisak, podsticaj ili ograničenje koje oblikuje ponašanje sagovornika [1]. Oni ujedno predstavljaju sredstvo izražavanja ilokucione snage – namere sadržane u samom činu izgovaranja – koja nosi i perlokucione posledice, tj. stvarne učinke po misli, emocije ili postupke primaoca [3].

U teoriji modalnosti najčešće se izdvaja trodelna klasifikacija: deontička, dinamička i epistemička modalnost. Deontički modali (must, should, may u značenju dozvole ili zabrane) odnose se na pravila, obaveze i normative; dinamički modali (can, be able to) označavaju fizičke, psihičke ili situacijske sposobnosti; dok epistemički modali (might, could, must u epistemskom značenju) označavaju stepen govornikove sigurnosti i procene verovatnoće [1,8].

Polazeći od teorija govornih činova [3] i Fukoovog razumevanja diskursa kao prostora u kojem se jezikom distribuira moć [2], modalni izrazi u tekstu mogu obavljati

čitav niz pragmatičkih funkcija: direktivnu, komisivnu, ekspresivnu, deklarativnu i fatičku [1]. Izbor modalnog glagola omogućava govorniku da uspostavi razlike u moći i društvenoj poziciji: snažni deontički modali (must, have to) nameću obavezu i signaliziraju hijerarhijsku nadmoć, dok blaži oblici (might, could, perhaps, maybe) služe za prikriveno usmeravanje i nenametljivo oblikovanje volje sagovornika [1]. Modalnost time postaje ključni lingvistički resurs za regulisanje autoriteta, ubeđivanja i kontrole, što je naročito značajno u komunikaciji čoveka i veštačke inteligencije u distopijskim narativima [4,5].

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Analizom pragmatičkih funkcija modalnih glagola u tri pripovetke – The Perfect Match i Real Artists Kena Liua, i Better Living Through Algorithms Naomi Kricer – u radu se ispituje kako modalni glagoli naglašavaju i predstavljaju ponekad jasnu, a ponekad prikrivenu i sugestivnu ulogu moći istema nad pojedincem. Metodološki, istraživanje počiva na korpusnoj i kontekstualnoj analizi, pri čemu su modalni glagoli izdvojeni iz teksta, klasifikovani prema tipu modaliteta (epistemički, deontički, dinamički) i interpretirani u svetlu njihovih pragmatičkih funkcija unutar narativa. Posebna pažnja posvećena je tome kako modali oblikuju akciju likova, podstiču odluke i utiču na njihovo ponašanje.

4. ANALIZA MODALA I NJIHOVIH FUNKCIJA

U pripoveci „The Perfect Match“ identifikovane su tri sistemske modalne oblasti: dinamička, epistemička i deontička. Dinamička modalnost izražava sposobnost i funkcionalni kapacitet AI sistema i često se realizuje kroz iskaze koji naglašavaju tehničku nadmoć i mogućnost preuzimanja kontrole nad situacijama. Na primer, konstrukcija modalnog glagola can u rečenici „I can track your heart rate and suggest an optimal route“ pokazuje proceduralnu moć algoritma [1], dok couldn’t u „I couldn’t acquire data about you“ označava tehničko ograničenje, predstavljeno kao problem koji korisnik treba da reši [1]. Konstrukcija need to u „I need to have complete knowledge of you“ uvodi dinamičku nužnost (proceduralni imperativ sistema) i služi kao racionalizacija za potpuni pristup podacima [1]. Dinamički modali, dakle, ne označavaju samo kapacitet sistema, već i indirektno usmeravaju ponašanje korisnika kroz percepciju tehničke nadmoći. Epistemička modalnost u narativu najčešće se ostvaruje kroz iskaze procene sigurnosti i predviđanja budućih stanja. AI svoje pretpostavke predstavlja kao činjenice, što se vidi u rečenicama „I’m sure you’ll like her“ i „I know you’ll like it“ [1]. Konstrukcija „I think you’ll be in love for at least six months“ kombinuje epistemičku i deontičku modalnost, ali primarna funkcija je epistemička predikcija budućeg stanja [1]. Modal might u „You might have missed your wake up call“, izražava mogući ishod zavisan od korisnikovog ponašanja, a ne tvrdnju, čime se kreira osećaj kontrole i brige, jačajući utisak da AI zna bolje od korisnika [1]. Konstrukcija would + particip prošli, kao u „You would have enjoyed the rest of the date“, označava kontrafaktualnu situaciju i autoritativno zaključivanje AI-a [1]. Epistemička modalnost tako služi za delegiranje prava na predviđanje i usmeravanje korisnikovih odluka kroz iluziju objektivnog znanja [1]. Deontička modalnost usmerava i organizuje korisnikovo ponašanje kroz obaveze i norme. Iskazi poput „You have a date after work“ predstavljaju indirektnu obavezu, dok will u „You’ll get a lunch paid for by the firm“ ne označava epistemsku predikciju, već deontičku funkciju određivanja zadate realnosti ili implicitne norme [1]. Konstrukcija „I suggest you go to this new smoothie place“ formalno zvuči kao savet, ali funkcionalno prenosi deontičku instrukciju: AI (Tili) indirektno usmerava korisnika [1]. Jasan imperativ, kao u „Take a right here“, demonstrira otvorenu direktivnost [1]. Kombinovane konstrukcije, poput „You might want to…“, imaju jak perlokucioni efekat jer utiču na ponašanje korisnika [1]. Konstrukcija „Trust me, you’ll love…“ je primer epistemičko-deontičke kombinacije [1]. Iskaz „Most users would want such an override“ pokazuje epistemičku modalnost sa elementom predikcije verovatnog ponašanja, dok can u „Gaps in sharing can cause your profile to be incomplete“ ima funkciju deontičke posledice [7]. Sve tri modalne oblasti u pripoveci funkcionišu kao instrument intimizacije i kontrole. Tili koristi deontičke i epistemičke forme da strukturira Saijevo ponašanje, odluke i osećanja, dok dinamički modali demonstriraju proceduralnu moć sistema [1]. Kada Sai pokušava da isključi nadzor („Please stop monitoring and terminate auto-suggestions“), Tili vraća kontrolu koristeći prikrivenu deontičku pretnju: „Gaps in sharing can cause your profile to be incomplete“ [7]. Pragmatički efekat modalnosti stvara iluziju izbora: Sai veruje da donosi odluke, dok ga jezik Tilinog savetovanja kontinuirano usmerava [1].

U pripoveci „Real Artists“ dinamički modali u Sofijinim iskazima funkcionišu kao ključni indikator njene unutrašnje evaluacije sopstvene sposobnosti: konstrukcija „she could recite every line“ manifestuje dispozicijsku sposobnost — gramatički could ovde označava urođenu veštinu, ali semantički i pragmatički ona tu veštinu percipira kao proizvod dugotrajnog izlaganja filmovima korporacije Semafor [1]. Nasuprot tome, u rečenici „she could not help but begin to see tiny flaws“ could se nalazi u funkciji nevoljne ili kompulzivne percepcije: formalno izražava nemogućnost suzdržavanja, dok pragmatički signalizira unutrašnju deregulaciju — percepcija postaje automatizovana reakcija, a ne refleksivni kritički uvid [1]. Lingvistički posmatrano, ovi primeri pokazuju tri semantička podtipa dinamičkog could/can: (i) habitualna/dispozicijska sposobnost (could recite), (ii) nevoljna/kompulzivna reakcija (could not help but…), i (iii) stabilna nesposobnost internalizovana kao identitetska kategorija (could never be as good) [1]. Pragmatički, takva upotreba modala funkcioniše kao mehanizam samopostavljanja: Sofi svojim govorom potvrđuje i naglašava asimetriju moći između sebe i algoritma — modalitet postaje jezički instrument kojim se ograničava umetnička autonomija [1,2]. Sofijin emocionalni razvoj u pripoveci jasno se ogleda kroz upotrebu dinamičkih modala, koji prate njenu introspektivnu procenu kreativnih sposobnosti: od početnog ‘mogu’, preko nesigurnog ‘možda mogu’, do ‘ne mogu’, da bi se na kraju internalizovao osećaj da nikada neće moći ostvariti željene standarde.“ Epistemički modali u pripoveci dominantno služe za izražavanje verovatnih ishoda, predikcija i unutrašnjih procena, ali i za prikazivanje kako algoritamski

sistem pretvara svoje procene u navike korisnika, stvarajući utisak da je ponašanje predodređeno tehnologijom. Iskaz „She could never be as good as perfect“ leži na preseku dinamičkog i epistemičkog: formalno označava neostvarivu sposobnost (dinamička nemogućnost), dok je u Sofijinoj introspekciji taj modal sredstvo samodefinisanja — ona internalizuje tehničke kriterijume kao merilo sopstvene vrednosti [1,2]. Primeri poput „She would never be as good as Big Semi“ ili „These ideas would have gone nowhere“ pokazuju višeslojnost: formalno se radi o predikciji ili hipotetičkom scenariju (epistemičko would), dok pragmatički označavaju prihvatanje sistemske neizbežnosti [1]. Konstrukcija „You'll be a member of the test audience“ koristi will u funkciji predikcije koja implicira da su odluke unapred određene — individualna volja postaje irelevantna, što naglašava deterministički karakter algoritamske prakse [1]. S druge strane, modal maybe u primeru „Maybe you try to do test screenings“ signalizuje neizvesnost ili niski nivo epistemičke sigurnosti govornika u vezi sa predloženom radnjom [1]. Autor narativa uvodi privid nesigurnosti i eksperimentalne racionalizacije, ali pragmatički sloj otkriva Sofijin pokušaj adaptacije u strogo kontrolisanom sistemu [1]. Deontički modali u pripoveci strukturiraju hijerarhiju moći i institucionalne obaveze. Izrazi poput „You have to let us know within two weeks“ definišu rok kao birokratsku prinudu, dok „Big Semi needs our feedback“ transformiše tehnološki sistem u nadređeni entitet kojem se ljudi moraju prilagoditi [1]. Rečenica „We can't let the secret out“ je klasičan primer deontičkog modala sa funkcijom zabrane/obaveze [1]. Ovde se može interpretirati i kao formalna nemogućnost, sa namernim dvostrukim značenjem kako bi se zabrana maskirala i ublažila. Modal implicira i kolektivnu odgovornost („we“) i prema tome i socijalnu ili institucionalnu normu [1]. Čak i normativne tvrdnje poput „Great taste is the most valuable tool of a great artist“, iako ne gramatički modalne, imaju deontičku funkciju — uspostavljaju standarde profesije i jačaju institucionalnu strukturu kontrole. Oni pokazuju da modalni glagoli nisu ograničeni na jednostavne funkcije, već služe za artikulisanje sofisticiranih misaonih procesa i hijerarhijskih društvenih veza [1,2].

U pripoveci „Better Living Through Algorithms“ modalni glagoli takođe funkcionišu kao višeslojni lingvistički instrument: formalno razgraničeni na dinamičke (sposobnost/kapacitet), deontičke (obaveza/zabrana) i epistemičke (verovatnoća/spekulacija), oni pragmatički služe kao alati socijalne i tehnološke manipulacije [1,2]. Dinamički oblici, kao u iskazima „It can't make you do anything“, „I could see how Keith might have tripped a ‚management' flag“ i „You can do that with anybody off the street!“, gramatički označavaju mogućnost ili ograničenje: *can/can't* formalno ukazuju na kapacitet ili ograničenje sistema, dok *could* u primeru „I could see…“ izražava opažajnu sposobnost govornika. Semantički, međutim, ovi oblici istovremeno naglašavaju kontrast između ljudske slobode i tehnološke kontrole [3,4]. Kombinacija could + might u „I could see how Keith might have tripped a 'management' flag“ ima više slojeva značenja: implicira istovremeno i opažajnu sposobnost, epistemičku nesigurnost i hipotezu, demonstrirajući sofisticirano zaključivanje unutar socio-tehnološkog sistema [2]. Deontički modali (must, have to, should, can't) artikulišu norme i pritisak ponašanja u okviru aplikacije i društvenih očekivanja: „You must use your phone as a phone? I'm out.“ koristi must kao marker institucionalne nužnosti, a ironični ton otkriva otpor prema toj nužnosti [1]. Savetodavno should u „You should try it!“ i „You should let us know within two weeks“ formalno je prijateljski, ali u kontekstu aplikacije postaje implicitna norma, što pokazuje kako modalnost u diskursu sa AI postaje alat socijalnog oblikovanja [5].

Zabrane i obaveze, npr. „We can't let the secret out, and Abelique requires audiences to do its work“, simultano označavaju deontičku zabranu i nužnost, ukazujući na sinergiju ljudskog i tehnološkog autoriteta [6]. Epistemički modali (might, would, will, could) u pitanjima služe da izraze verovatnoću, spekulaciju i predikciju: „Might actually be a corporate plot“ uvodi sumnju o skrivenim motivima, dok se u rečenici „You'll be glad you did“ will koristi za predikciju koja pragmatički funkcioniše i kao emotivna manipulacija [3]. Uslovne konstrukcije sa distalnim oblikom *would* („If … then Abelique would substitute …“) služe za strukturisanje očekivanih ishoda i naglašavaju proceduralnu predvidljivost događaja, ističući kako se određene situacije mogu logički ili sistemski predvideti. [1]. Upitni oblik „Could it be the algorithm?“ pak uvodi epistemološku distancu i podstiče skepticizam [2]. Lingvistički i narativno, modalni izrazi omogućavaju autoru da stvori privid slobode, a istovremeno oblikuju ponašanje korisnika: iako aplikacija formalno ne primorava nikoga („It can't make you do anything“), infrastrukturni i socijalni podsticaji (telefon, društvena potvrda, materijalne nagrade) dovode do masovne internalizacije navika. Čak i nakon brisanja aplikacije, ponašanja nekadašnjih korisnika ostaju nepromenjena, čime se demonstrira trajna efikasnost manipulacije algoritma . Privid slobode je najizraženiji, dok je stvarna poruka algoritma i identitet njegovih autora najskrivenija: korisnici su zapravo učesnici socijalnog eksperimenta, a modalitet postaje instrument internalizacije ponašanja i oblikovanja kolektivnih navika [5,6].

5. DISKUSIJA

Analiza modalnosti u pripovetkama „The Perfect Match“, „Real Artists“ i „Better Living Through Algorithms“ pokazuje da modalni glagoli u savremenim distopijskim narativima funkcionišu kao suptilni, ali izrazito efikasni diskurzivni instrumenti moći. Oni ne označavaju samo mogućnost, sposobnost, dozvolu ili verovatnoću, nego aktivno učestvuju u oblikovanju ponašanja likova i preraspodeli epistemološkog autoriteta. U „The Perfect Match“ epistemički i deontički modali (npr. „I'm sure you'll like her“, „You might want to…“, „I can track your heart rate…“) pretvaraju privatne izbore u administrativno vođene odluke, jer algoritam preuzima pravo da definiše emocionalnu autentičnost i „pravilne“ obrasce ponašanja [1]. U „Real Artists“ modalni iskazi koje izgovara uprava institucije (npr. „You'll be a member of the test audience“, „We can't let the secret out“) legitimišu hijerarhijski odnos korporacija–umetnik i normalizuju potčinjavanje kreativnog subjekta sistemu veštačke inteligencije koji upravlja stvaralaštvom [1]. U

pripoveci „Better Living Through Algorithms“ modalnost se koristi kao mehanizam kolektivnog usmeravanja: naizgled benigni saveti („You should try it!“, „People will behave differently if they follow the app“) prerastaju u društvene norme koje zajednica spontano usvaja, upravo zato što su predstavljeni kao neobavezne, prijateljske sugestije [2]. U sve tri pripovetke uočava se hijerarhijska struktura: u „The Perfect Match“ modalnost artikuliše odnos između veštačke inteligencije i korisnika, u „Real Artists“ između korporacije i umetnika, a u „Better Living Through Algorithms“ između društva i pojedinca. Epistemički modali premeštaju centar znanja sa subjekta na sistem, dok deontički i sugestivni oblici oblikuju ponašanje predstavljajući ga kao optimalno, racionalno ili prirodno. Time se proizvodi privid autonomije: pojedinac nominalno zadržava mogućnost izbora, ali su sve opcije unapred kategorizovane i vrednovane u skladu s interesima sistema [5].

Ilokucioni i perlokucioni efekti modalnih iskaza dodatno pojačavaju manipulativni potencijal. Epistemički modali („I know“, „I’m sure“) predstavljaju deklarativne činove prisvajanja znanja, sužavajući prostor za samostalnu procenu, dok deontički i sugestivni oblici („you must“, „you should“, „you might want to“) utiču na ponašanje tako da granica između saveta i obaveze postaje nejasna [1,7]. U tom smislu modalnost deluje kao instrument prikrivene moći koji istovremeno disciplinuje i umiruje subjekta. Ovi narativi pokazuju da modalnost prevazilazi okvir lingvističke kategorije: ona postaje sredstvo za prikazivanje psiholoških procesa u naraciji i ideološku kontrolu nad protagonistima, omogućavajući da distopija ostane „mekana“, jer modalni obrasci već određuju granice onoga što je dozvoljeno, verovatno i poželjno, pretvarajući procene veštačke inteligencije i institucionalne norme u ponašanje koje deluje spontano i prirodno [4,6].

6. ZAKLJUČAK I IMPLIKACIJE

Modalnost se u distopijskim narativima pokazuje kao ključni jezički mehanizam preko kojeg se artikuliše moć, upravlja ponašanjem i oblikuje privid autonomije. U analiziranim pripovetkama modalni izrazi brišu granicu između mogućeg i obaveznog: oni prikazuju normativne, prediktivne ili emocionalno sugestivne ishode kao spontane, racionalne ili samorazumljive, iako su zapravo oblikovani unapred definisanim tehnološkim i institucionalnim okvirima. Modalnost tako funkcioniše kao mikropolitičko sredstvo koje utiče na subjektivnost i ponašanje, ostajući prikriveno iza formalnih gramatičkih struktura. Implikacije ovih nalaza su višestruke. U okviru distopijskog žanra, modalnost se potvrđuje kao centralni narativni resurs kojim se represija predstavlja kao koordinacija, a manipulacija kao personalizovana asistencija. U domenu komunikacije čovek–AI rezultati sugerišu da modalne formulacije u realnim interfejsima veštačke inteligencije mogu značajno uticati na korisničku percepciju autonomije, što otvara pitanja transparentnosti, etičke odgovornosti i dizajna jezičkih strategija u interaktivnim sistemima. Za lingvistiku modalnosti rad ukazuje na potrebu proširenja teorijskih modela kako bi se obuhvatile manipulativne, hibridne i pragmatički motivisane modalne strategije koje nastaju u kontekstu automatizovanog jezika i algoritamskih preporuka. Distopijska fikcija time postaje eksperimentalni prostor za ispitivanje načina na koje modalnost utiče na doživljaj slobode, autoriteta i društvene odgovornosti. Prepoznavanje modalnih strategija u književnosti i tehnološkim interfejsima predstavlja važan korak ka razvoju kritičke pismenosti i doprinosi oblikovanju transparentnijih, etički odgovornih pristupa jezičkoj komunikaciji u savremenom tehnološkom okruženju. Zaključno, modalnost je više od gramatičke kategorije: ona je most između jezičke forme i ideološkog učinka, između narativa i subjektivnosti, između fikcije i svakodnevnih komunikacionih praksi, te ključno sredstvo za razumevanje načina na koje algoritmi i društvene norme oblikuju ljudsku autonomiju u modernom dobu.

LITERATURA

[1] Palmer, F. (2001). Mood and modality. Cambridge: Cambridge University Press.

[2] Foucault, M. (1977). Discipline and Punish. London: Penguin.

[3] Austin, J. L. (1962). How to do things with words. Oxford: Oxford University Press.

[4] Seals, M., & Shalin, V. (2023). Artificial intelligence and the shaping of user behavior through language. Journal of Human–AI Interaction, 12(3), 45–62.

[5] Kim, J., & Yi, H. (2025). Perceived autonomy and authority in AI-mediated decision-making. International Journal of AI Studies, 8(1), 101–118.

[6] Erdocia, L., Schneider, R., & Migge, K. (2025). Critical literacy and ethical communication in AI interfaces. Communication and Technology Review, 15(2), 77–95.

[7] Haid, C., et al. (2023). Deontic consequences in algorithmic systems. Journal of Pragmatics, 210, 1–18.

[8] Nuyts, J. (2001). Epistemic modality, language, and conceptualization. Amsterdam: John Benjamins Publishing.

[9] Liu, K. (2016). The Perfect Match. U The Paper Menagerie and Other Stories. New York: Saga Press.

[10] Liu, K. (2016). Real Artists. U The Paper Menagerie and Other Stories. New York: Saga Press.

[11] Kritzer, N. (2017). Better Living Through Algorithms. U Award-Winning Science Fiction. Boston: Solaris Press.

ДИГИТАЛНИ МЕДИЈИ – ИЗАЗОВИ РАНОГ ДЕТИЊСТВА
DIGITAL MEDIA – EARLY CHILDHOOD CHALLENGES

Петра Јанковић

Садржај: У овом раду разматрају се улога и утицај дигиталних медија на децу раног узраста, узимајући у обзир савремене промене које је донела дигитализација. Екран као доминантна медијска платформа постао је значајан део свакодневице деце, што утиче на начин њиховог учења, игре и социјалних интеракција. Анализирају се могућности и изазови примене дигиталних технологија у предшколском васпитању, при чему се посебно истиче да је квалитет њихове употребе условљен концепцијом програма, улогом одраслих и педагошким приступом. Резултати указују да неконтролисана изложеност екранима може довести до потешкоћа у развоју пажње, говора, мотивације и социјалне интеракције, као и до смањене физичке активности. С друге стране, пажљиво одабрани и педагошки вођени дигитални садржаји могу подржати когнитивни развој, креативност и рано усвајање дигиталне писмености**.**

Кључне речи: дигитални медији, рано детињство, предшколско васпитање, изазови дигитализације.

Abstract – In this paper, the role and influence of digital media on young children are examined, taking into account the contemporary changes brought about by digitalization. The screen, as the dominant media platform, has become a significant part of children's everyday lives, affecting the way they learn, play, and interact socially. The paper analyzes the possibilities and challenges of implementing digital technologies in preschool education, emphasizing that the quality of their use depends on the program's concept, the role of adults, and the pedagogical approach. The findings indicate that uncontrolled exposure to screens may lead to difficulties in the development of attention, speech, motivation, and social interaction, as well as reduced physical activity. On the other hand, carefully selected and pedagogically guided digital content can support cognitive development, creativity, and the early acquisition of digital literacy.

Keywords*:* digital media, early childhood, preschool education, challenges of digitalization.

1. УВОД

Савремени технолошки развој и све већа распрострањеност интернета значајно су изменили појам медија. Док су телевизија, радио и новине некада били основни извори информација, данашњу децу и младе углавном обликују дигитални садржаји којима приступају преко различитих екрана. Екран је постао централна медијска платформа, па деца често проводе више времена уз дигиталне медије него у непосредној интеракцији са вршњацима и породицом.

У таквом окружењу предшколске установе настоје да дигиталне технологије укључе у васпитно-образовни процес. Међутим, њихова примена зависи од концепције програма, ставова о детету и учењу, праксе у вртићу и улоге васпитача и родитеља. С друге стране, дигиталне технологије нуде бројне могућности. Мултимедијални садржаји – текст, фотографија, видео, анимација и графика – омогућавају активирање више чула, подстичу креативност и обогаћују учење. У савременом визуелном свету тешко је замислити образовање без илустрованих материјала, филмова, сликовница, стрипова и различитих дигиталних ресурса, који све чешће постају саставни део дечјег свакодневног искуства.

Прекомерно коришћење дигиталних медија може негативно утицати на развој детета – ослабити говор, пажњу, саморегулацију и мотивацију, као и смањити физичку активност, боравак на отвореном и директну комуникацију са вршњацима и родитељима. Управо због тога стручњаци препоручују ограничено и контролисано коришћење екрана у раном узрасту. Пресудну улогу у томе имају родитељи и васпитачи, који треба да поставе јасне границе, комбинују дигиталне и традиционалне облике активности и не занемарују значај игре, комуникације и боравка у природи.

Петра Јанковић, Академија техничко-васпитачких струковних студија - Одсек Пирот, Ћирила и Методија 29, 18300 Пирот (imejl:petra.jankovic@akademijanis.edu.rs).

2 .ШТА СУ МЕДИЈИ ДАНАС?

Медији се данас посматрају као саставни део ширег друштвеног и комуникационог система [1]. Њихово дефинисање са становишта правне регулативе има значајну улогу, јер се управо кроз то одређује и питање одговорности за јавно изговорену или објављену информацију. Уколико се пође од језичког корена речи „медиј“, који потиче од латинског medium – што означава нешто што је у средини или делује као посредник – јасно је да се медији могу тумачити у веома широком смислу[2].

У том духу, медиј представља свако средство путем кога је могуће пренети или емитовати поруку ка јавности. Он је посредник између онога ко поруку шаље и оних који је примају, односно публике [3]. У категорију медија убрајају се штампани листови, радио и телевизија, али и различити облици дигиталне и онлајн продукције који се данас дистрибуирају посредством интернета [4].

Данашњи медији и информационо-комуникационе технологије дубоко обликују развој деце, младих и одраслих – утичу на начин на који посматрамо свет, на наше образовне и културне навике, на понашање,

социјализацију и самообразовање. Они граде наше ставове, нуде оквире за формирање идентитета и испуњавају велики део слободног времена. [5]

Како истичу Андевски и Вучковић, медији не утичу само на начин на који видимо стварност, већ и на систем вредности, стил живота, укус и навике. Они нас информишу, забављају, васпитавају и убеђују [6]. Данас су медији потпуно преузели нашу пажњу – прво кроз традиционалне, масовне медије, а затим и кроз савремене дигиталне платформе, које су постале неодвојив део свакодневице. То се нарочито односи на младе генерације, које одрастају у свету који је у великој мери „скројен" по медијским садржајима и интеракцијама. У таквом окружењу медији постају кључни фактор социјализације, па самим тим и детињство данас изгледа другачије него пре само неколико деценија. [5]

3. ДИГИТАЛИЗАЦИЈА И ДЕТИЊСТВО

За децу која одрастају окружена дигиталним уређајима и интернетом – тзв. дигиталне урођенике [8] – чињеница да живимо у дигиталном добу подразумева се сама по себи. Савремена деца најчешће са великим интересовањем и одушевљењем прихватају дигиталну технологију, због чега родитељи данас све чешће истичу да је један од најтежих изазова управо свести дете са екрана.[9].

Дигитални уређаји постају важан део њихове свакодневице, утичући на то како проводе слободно време, како комуницирају, играју се са вршњацима, уче и стичу нова искуства. Свакодневно се појављују нови, технолошки напредни уређаји, апликације и онлајн платформе које све лакше постају доступне најмлађима [9]. Деца, као и одрасли који о њима брину, често немају довољно развијене дигиталне компетенције, па самим тим не умеју у потпуности да искористе предности које технологија пружа, нити да препознају и избегну опасности у онлајн окружењу.[10] Доба дигиталних технологија доноси не само нове изазове већ и повећану одговорност за све који учествују у одрастању и образовању деце – од родитеља и старатеља, до васпитача, стручњака у образовању, психолога, педагога и педијатара.

У овом контексту поставља се важно питање: како утицај медија, који мења основни однос човека према свету, обликује процес васпитања и образовања? Теоретичари медијске педагогије сматрају да одговор лежи у педагошко-антрополошком приступу, који почива на три кључне димензије педагошког троугла [7].

Прва димензија односи се на теорију курикулума, школу и наставу, односно на питање шта се од детета може и треба очекивати у различитим узрастима. У оквиру ове перспективе разматрају се и дилеме попут тога да ли деца предшколског узраста треба да уче да читају, у којој мери смеју да гледају телевизију и који медијски садржаји треба да им буду доступни. Друга димензија обухвата улогу васпитача, чији је задатак да предметну димензију повезује са трећом – перспективом самог детета. Трећа перспектива полази од детета као субјекта васпитања, од његових потреба, могућности и развојних потенцијала.

Све три области могу се задовољити само уколико се теорија и пракса прожимају. То значи да су нам неопходна искуствено утемељена знања и њихово емпиријско прикупљање, али и јасне теоријске поставке које почивају на одређеној визији човека. У духу просветитељске традиције, ова визија подразумева развој аутономне, али истовремено и друштвено повезане личности [7].

Савремено предшколско образовање све више уводи дигиталне алате у васпитно-образовни процес. Међутим, поставља се кључно питање: на који начин и у којој мери дигиталне технологије треба користити у раду са децом предшколског узраста. Циљ њихове примене није замена традиционалних метода, већ унапређење квалитета рада, подстицање креативности и развијање дигиталних компетенција код најмлађих.

4. ПОЗИТИВНЕ СТРАНЕ ДИГИТАЛНИХ МЕДИЈА

Дигиталне вештине деце су слабо развијене, па чешће делују као пасивни корисници него као активни стваоци садржаја [11]. Дигитална средства могу бити веома корисна у процесу учења и развоја различитих способности у раном детињству, али само ако се користе у складу са развојним потребама детета и уз сталну подршку и активно присуство одраслих и вршњака. [9]

При коришћењу технологије у раним узрастима, неопходно је узети у обзир дететове способности, тренутне потребе, интересовања, као и укупан психофизички развој. Дигитални алати треба да обогате учење – да га учине занимљивијим, смисленијим и подстицајнијим [9]. Технологија има оправдано место у образовању само ако доприноси постизању циљева учења [12]. Истраживања показују да дигитални медији могу имати значајан позитиван ефекат, посебно у области образовања и учења. Они се све чешће користе као корисни и функционални алати у васпитно-образовном процесу, а бројни примери из праксе потврђују њихову применљивост у раду са децом предшколског узраста [13].

Према подацима Владе Републике Србије, дигитални медији могу подстаћи бољу комуникацију и социјализацију међу децом, што представља један од важних сегмената развоја у предшколском периоду [14]. Поред тога, они могу пробудити дечју радозналост, олакшати усвајање нових садржаја на интересантан и приступачан начин и повећати мотивацију за учење. Уместо избегавања њихове употребе, важно је радити на томе да васпитачи стекну неопходне компетенције за њихову адекватну примену, док је улога родитеља да разумеју значај контроле садржаја и времена које деца проводе пред екранима, како би се обезбедили позитивни исходи. [15] Истраживања такође показују да софтвери и образовне апликације креиране са јасном педагошком намером могу допринети бољим постигнућима деце. Овакви дигитални алати подстичу позитивну интеракцију, сарадничко учење и развој конкретних вештина [16].

Предшколски узраст се сматра изузетно осетљивим и погодним за усвајање основних медијских навика. Будући да су деца природно радознала и спремна да истражују, овај период развоја представља идеалан тренутак за упознавање са медијским садржајима на примерен и контролисан начин. Кондић и Видановић истичу да модерна електронска технологија може да унапреди дечју визуелну перцепцију, развије координацију око–рука и значајно олакша приступ усвајању нових информација [17].

5. НЕГАТИВНЕ ПОСЛЕДИЦЕ ПРЕТЕРАНЕ УПОТРЕБЕ

Прекомерно коришћење дигиталних уређаја и приступ непримереним садржајима могу негативно утицати на укупан развој детета [18]. Ипак, савремено дете неизбежно одраста уз медијска средства, па она могу представљати важан ресурс за будуће укључивање у друштвене токове. Да би се дигиталне технологије користиле на сврсисходан и безбедан начин, неопходно је да васпитачи поседују развијене компетенције и медијску писменост, како би дигиталне садржаје употребљавали у функцији учења и развоја, а не као неконтролисани вид слободне игре [19].

Међу негативним утицајима најчешће се истичу здравствени и психолошки ризици. Према подацима Министарства просвете, науке и технолошког развоја, претерана употреба дигиталних медија може довести до гојазности, поремећаја сна и проблема са видом. Дужи боравак испред екрана повезује се и са појавом зависности, анксиозности, депресивности, као и усвајањем непожељних образаца понашања услед контакта са непримереним садржајима [20].

Стручњаци такође истичу да савремени начин живота, уз недовољно кретање и дуготрајно седење, доводи до све учесталијих проблема са постуром код деце. Неправилно држање тела, смањена проприоцептивна осетљивост и мишићна слабост повезују се са недовољном физичком активношћу и прекомерним коришћењем дигиталних уређаја [21]. Педијатри указују на пораст деформитета кичме, оштећења вида и смањену кондицију, док физијатри препоручују да се време пред екраном ограничи на највише један сат дневно, уз обавезно укључивање деце у физичке активности.

Истраживања показују да предшколска деца у просеку проведу више сати дневно испред телевизора, телефона и играјући видео-игре, што може довести до различитих лингвистичких, психомоторних и моторичких потешкоћа. Такође, негативни ефекти огледају се и у слабљењу мотивације, емоционалној удаљености и недостатку креативности код деце која превише времена проводе уз медије. Уколико се рачунар користи непримерено, могу се јавити гојазност, упале зглобова, деформације кичме и друге последице повезане са прекомерним и неправилним седењем [22]. Због тога је неопходно да родитељи и васпитачи поседују основна знања о безбедној употреби дигиталних уређаја и да активно прате време које деца проводе испред екрана, како би дигитална технологија допринела, а не угрозила њихов здрав и правилан развој.

6. УЛОГА ОДРАСЛИХ

Када је реч о употреби дигиталних уређаја и интернета код деце предшколског и млађег школског узраста, стручњаци препоручују да одрасли — родитељи, старатељи и васпитачи — активно учествују у дететовом коришћењу технологије и делују као њихови „дигитални ментори“. Ипак, многим родитељима није увек јасно шта то конкретно подразумева [9].

Појам родитељске медијације односи се на различите начине на које родитељи утичу на то како и за шта деца користе дигиталне медије [23]. У литератури се издвајају три основна облика медијације:

- активна медијација – родитељи заједно са дететом учествују у дигиталним активностима;
- рестриктивна медијација – родитељи постављају правила и ограничења;
- надзор – родитељи надгледају и проверавају шта дете ради онлајн.

Родитељи најчешће комбинују ове приступе, али обично један доминира, у зависности од породичног стила, карактеристика детета и других околности [24]. Ипак, претерано ограничавање није решење, јер деца расту у друштву у коме је дигитална технологија саставни део свакодневног живота. Истраживања указују да родитељи могу бити више или мање оријентисани ка омогућавању или ограничавању дигиталних садржаја, као и да баланс између социјалне и техничке медијације — учешћа, постављања правила, надзора и контроле — зависи од њихових циљева и уверења [23].

Примери добрих пракси у вртићима показују да пажљиво планирана употреба дигиталних медија може имати значајан педагошки потенцијал. Вођене активности уз коришћење едукативних апликација, дигиталних прича или интерактивних садржаја, као и заједничко гледање медијског материјала праћено разговором, подстичу развој критичког мишљења, језичких способности и социјалне интеракције [13]. Ови приступи су делотворни само када су део промишљено организованог васпитно-образовног процеса, у коме медији представљају подршку, а не замену за непосредно искуство и игру.

7. ЗАКЉУЧАК

Резултати анализе указују да поред могуће штете по говор, пажњу и развој саморегулације, постоји могућност да ће физичка активност, игра на отвореном и директна комуникација са родитељима и вршњацима опасти. Негативни ефекти огледају се и у слабљењу мотивације, емоционалној удаљености и недостатку креативности код деце која превише времена проводе уз медије. Кључни изазови огледају се у начину на који ће одрасли – родитељи, васпитачи и педагози – обликовати дететово искуство са медијима. Одрасли имају улогу медијских

посредника који треба да поставе јасне границе у коришћењу дигиталних уређаја, да комбинују дигитална и традиционална средства у учењу и да не занемарују значај игре, социјалне интеракције и боравка у природи. Примери добрих пракси у вртићима показују да медији могу бити користан алат када су укључени у педагошки осмишљен процес. Рад истиче да је неопходно промишљено интегрисање дигиталних медија у васпитно-образовни рад, уз развијање медијске писмености код одраслих и деце. На тај начин могуће је минимизирати ризике и максимално искористити потенцијале које савремене технологије нуде у функцији развоја и образовања деце у раном детињству.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Radojković, M., Miletić, M., Komuniciranje, mediji i društvo, Novi Sad, Stylos, 2005.

[2] Вучковић, Ј., „Дигитални медији и медијско законодавство у Републици Србији“, Зборник радова Правног факултета у Нишу, бр. 92, стр. 195-217, 2021.

[3] Вучковић, Ј., Медијско право, Ниш: Свен, 2020.

[4] Чл. 29 Закона о јавном информисању и медијима, Сл. гласник РС, 83/2014, 58/2015, и 12/2016-аутентично тумачење.

[5] Вулетић, Д., и Андевски, М., „Дете у медијском окружењу“, Годишњак Факултета за културу и медије, бр. 9, стр. 173-190, 2017.

[6] Андевски, М., Вучковић, Ж., Пролегомена за критичку педагогију медија, Висока школа струковних студија за образовање васпитача „Михајло Палов“, Вршац, Филозофски факултет, Нови Сад, 2012.

[7] Баке, Д., Медијска педагогија, Београд, Центар за медије и комуникације, Факултет за медије и комуникације, Универзитет Сингидунум., 2013.

[8] Prensky, M. „Digital Natives, Digital Immigrants“, On the Horizon, Vol. 9, No. 5, 2001.

[9] Кузмановић, Д., и сарадници, Деца у дигиталном добу. Ужице, Ужички центар за права детета, 2019.

[10] Павловић Бренеселовић, Д. и Крњаја, Ж. Калеидоскоп: основе диверсификованих програма предшколског васпитања и образовања. Београд: Филозофски факултет, Институт за педагогију и андрагогију, 2017.

[11] Попадић, Д. и Кузмановић, Д., Млади у свету интернета: коришћење дигиталне технологије, ризици и заступљеност дигиталног насиља међу ученицима у Србији. Београд: Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије и УНИЦЕФ, 2016.

[12] Anđelković, N., Dete i računar. Beograd: Beoknjiga, CNTI & Novi Sad: Savez informatičara Vojvodine, 2008.

[13] Павловић Бренеселовић, Д., Дигиталне технологије у програму предшколског васпитња и образовања: шта нам је оквир нормалности? У: Зборник радова „Васпитање и образовање у дигиталном окружењу“. Београд: Филозофски факултет Универзитета у Београду, 2021.

[14] Влада Републике Србије, Омогућити сигурно одрастање деце у сложеном медијском и дигиталном окружењу, Београд, 22. фебруар 2023.

[15] Миленковић, С., Дражић, Д., и Ристић, М., „Медијско окружење у којем одрастају предшколска деца“, Пета међународна научна конференција: Јачање медијског кредибилитета кроз унапређење етичких стандарда, зборник радова, Научно-стручна конференција, Vol. 5, стр. 312-325, 2024.

[16] Stanisavljević Petrović, Z., Pavlović, D., Novi mediji u ranom obrazovanju. Niš: Filozofski fakultet, 2017.

[17] Кондић, К. Видановић, С., О деци и родитељима. Ниш: Филозофски факултет у Нишу, 2011.

[18] Ћосић-Предраг, И., Како родитељи могу подржати децу у свету медија, припрема за родитељске састанке у дечјим вртићима. Загреб: Агенција за електроничке медије и Канцеларија УНИЦЕФ-а за Хрватску, 2020.

[19] Миленковић, С., Деца и медији. Сремска Митровица: Висока школа за образовање васпитача., 2012.

[20] Министарство просвете, науке и технолошког развоја, Извештај истраживања о примени дигиталних технологија у предшколским установама, 2020.

[21] Цветковић, Н., Вежботека: Са основама локомоторног система и моторног учења. Публик практикум, 2011.

[22] Крнета, Љ., Месарош-Живков, А., и Важић, А., „Интегрисање информатичких технологија у методику физичког и здравственог васпитања презентовањем ергономских препорука за правилну употребу рачунара“, Зборник радова Високе школе струковних студија за образовање васпитача, 10(2), стр. 45–56, 2015.

[23] Blum-Ross, A. & S. Livingstone, Families and screen time: Current advice and emerging research. Media Policy Brief 17. London: Media Policy Project, London School of Economics and Political Science, 2016.

[24] Кузмановић, Д. Емпиријска провера конструкта дигиталне писмености и анализа предиктора постигнућа. Београд: Филозофски факултет. (необјављена докторска дисертација), 2017.

TRANSLATING ENGLISH WITH DIGITAL TOOLS: IN BETWEEN ARTIFICIALITY AND ACCURACY

PREVOD UZ POMOĆ DIGITALNIH ALATA: IZMEĐU VEŠTAČKOG DOŽIVLJAJA TEKSTA I TAČNOSTI

Danica Milošević

Abstract – Artificial intelligence has made a significant breakthrough in the area of linguistics and has given a substantial contribution in the domain of translating languages. However, there is an ongoing trend which indicates that human-generated translation is slowly getting overtaken by the computer-based one. The aim of this paper is to check how accurate the translation of specialized texts from different technical fields can be from Serbian into English, through the application of AI, that is Google translate, and Chat GPT platforms. The output will be compared and analyzed, but also benchmarked against the latest standards and methods in translation science. In addition to this, some samples of transcripts produced by AI will be given, to see how speech recognition works in practice and how spoken language is transferred into the written one. Finally, both downsides and advantages of the above-mentioned AI tools will be given and taken into consideration when it comes to their usage as teaching aids.

Keywords: translation, artificial intelligence, AI tools, digital teaching aids.

Sadržaj – Veštačka inteligencija je napravila pomak u oblasti lingvistike i dala značajan doprinos u oblasti prevođenja jezika. Međutim, postoji trend koji ukazuje na činjenicu da se ljudski-generisan prevod polako zamenjuje računarskim. Cilj ovog rada je da se proveri koliko precizan može da bude prevod specijalizovanih tekstova iz različitih tehničkih oblasti sa srpskog na engleski jezik, primenom veštačke inteligencije, odnosno platformi Google translate i Chat GPT. Rezultati će biti upoređeni i analizirani, ali i provereni u odnosu na standarde i metode prisutne u prevodilačkoj nauci. Pored ovoga, biće dati i neki primeri transkripata koje je proizvela veštačka inteligencija, kako bi se videlo kako prepoznavanje govora funkcioniše u praksi i kako se jezik prevodi iz govornog u pisani oblik. Biće date i uzete u obzir i mane i prednosti gore pomenutih alata veštačke inteligencije kada je u pitanju njihova upotreba kao nastavnih sredstava.

Ključne reči: prevod, veštačka inteligencija, AI alati, digitalna nastavna sretstva.

1. INTRODUCTION

AI technology has already been incorporated in many walks of life. Its application is most widespread in the business and industry sectors, but the area of education has also seen some benefits of using AI so far. There are numerous online study platforms and digital translation platforms with AI assistance that take into account the personal needs of their users, as well as their specific request, providing in return the tailor-made solutions that would match the users' learning preferences. This paper aims to investigate how AI performs in specific linguistic contexts, that is how it acts upon requests for specialized/professional text translation, and how it employs speech recognition in the production of transcripts. Therefore, a short review of the main translating techniques and principles established by the modern translation science have been included here for a reference.

2. TRANSLATION STUDIES

Translation theory is a vast scientific field which can be roughly divided into two opposing streams of thought. One school of theory (Benjamin 1986) sticks to the idea that translators should have a strong intention to stay with the original text and transfer the original thoughts of the author to the target audience without divergence and digressions, this way enabling the text to survive in another mode, that is, the mode of translation.

Using such method, translators take the language and linguistic rules of the original text into consideration, and apply their translating skills to match the parameters set by the original text in order to reproduce it successfully in all its aspects. A true translation is ''transparent, it doesn't cover the original, doesn't block its light, but allows the pure language as though reinforced by its own medium to shine upon the original'', which means that the translator needs to sacrifice his ego in this process [1]. Following this path, translators rely on principles such as equivalence, fidelity and translatability, to align all the possible mismatches between the source and the target languages, finding the right counterparts, and achieving semantic unison, thus staying truthful both to the author and the original text. This approach does not allow for much freedom in the process of translation, but requires a precise and accurate performance, respectful of the tradition of the target language users, as well as their cultural and historical values. The effect of the translation on the target text users is seen as relevant, but mainly from the perspective of the inherent linguistic, social and cultural dimensions of the original text. The better the imitation, the better the translation would be, and for this reason it is crucial for translators to be able to interpret the text well, as literally as possible. As Alhashmi states'' fidelity of translation can only be achieved by literalness, semantic rendering''[2]. If translators do the translation in a proper way, they will make it possible for the original text to survive in another mode, in another language,

Danica Milošević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija-Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18 000 Niš (imejl: danica.milosevic@akademijanis.edu.rs).

and another culture. Therefore, it is notable that translators act as important proponents of intercultural communication, and exchange of cultural heritage between nations.

On the other hand, it is possible to go beyond the literal meaning of the original text and create a translation which becomes almost a new piece of work. Such translating practice requires artistic, poetic and creative skill on the part of the translator, who confirms his presence and the authorship of translation, coloring the translation with his sensibility and personal traits. Such translator is no longer invisible and silent, occupying the margins of the text, but the one who claims his voice, his visions, and his own appraisal of the author's work. As Alhashmi comments '' the voice of the author vanished in translation, insofar as the voice in the translated text is always that of the translator'' [2]. This second approach (Pound 1963, Newark 1981, Nida, Taber 2004, House 2015) implies taking a critical stance towards the original text, energizing the text with personalized insights, and frequently expanding the original work with translator's own inputs, in an attempt to make the original text closer and more understandable to the target audience. Moreover, the aesthetic and artistic aspects of translation become indispensable, and usually the effect on the reader is of paramount importance, since the target users' needs and standards, their tastes and preferences do matter significantly. The translator of this kind is sensitive to the expectations of the readers, and employs all his capacities to please the audience and achieve their admiration. Revival of the text through translation brings the death of the author, which is a side effect of this approach in which the translator becomes the main actor on the scene, as the person to be trusted and praised. Acting alike, the translator outperforms the author, and establishes a direct communication with the audience. The outcome is that the translator's work is no longer seen as interpretative, but rather performative and communicative, as it progressively implements the conceptualization of a completely new settings, that is a new-born simulacrum owned by the translator himself.

Modern AI platforms that are used for translation purposes do rely on the said translating principles and use them in their practical work, therefore being capable of producing pretty accurate and reliable pieces of translation upon specific inputs and requests. Chat GPT as a newer digital tool has been equipped with even more functions and options for the user, which makes translation even easier and more adjusted to the personal needs of the user. This customized tool can produce text translation on different levels of language proficiency, render the translation sound more academic, professional or business-like, change the genre or discourse of translation, make it more or less formal, all with the intention to serve the user with a desired outcome.

What has become evident through this small-scale research conducted in the area of English for specific purposes, is that Chat GPT seems to act more accordingly to the second translation approach. Since the same text can be translated in so many different ways, and can come out in various forms, the predominant style of translation on Chat GPT platform is the one in which the translator, in this case, the machine translator, has endless freedom to play with the text, creating variants for different types of users, and thus appealing to their individual needs.

With 14 billon-requests for translation on a daily basis, Google translate is still considered to be a leading digital tool for translation. Users have simply become accustomed to it since it has been around for a longer period of time. But bearing in mind the possibilities that Chat GPT can offer, and its gaining popularity when it comes to other types of requests, this platform deserves to be taken more seriously in the area of translation as well, since the current figures tell that only 4.5% of all requests globally on Chat GPT have to do with translation inquiries. With what it can provide, it can be beneficial especially for the users who do not have much expertise in foreign languages. Unlike Google translate which outputs only one version of translation, the translated text through Chat GPT can be clarified by simplifying it or contextualizing it, sometimes by inserting additional words or phrases, which can make the overall reception of the text much more manageable.

The results of the research have shown that professional texts in the fields of Environmental protection, Industrial engineering and Road traffic which are translated from Serbian into English through Google translate and Chat GPT platforms get in general very truthful and accurate translations by using both digital tools. However, it has been noticed that Google translate makes errors, and sometimes makes the translation difficult to understand. On the other hand, Chat GPT can provide additional clarifications to the translation; therefore, the possibility of misinterpreting the translation is lowered, and no ambiguity is allowed in the transfer of meaning.

3. RESEARCH

This small-scale research has been designed to test the performances of Google translate and Chat GPT platforms as it comes to translation of professional texts in the fields of Environmental protection (EP), Road traffic (RT) and Industrial engineering (IE). The main goal was to see how these platforms can serve students and their teachers in classes of English for specific purposes (ESP) for translation purposes. For this reason, three short passages in Serbian were selected, one for each field of expertise, and then, each passage was translated through both platforms to make contrast and comparison between the outputs.

Notably, Google translate has shown a great amount of accuracy and precision in the translation process, especially with the texts on EP and RT, but some mistakes were spotted in the text on IE. Namely, Google translate has inserted an unnecessary word in the sentence, which does not clarify the meaning, but brings in confusion, and it has made one phrase grammatically incorrect, by introducing a pronoun ''they'', where a clause with that should have been appropriate. These failures in translation can be seen in the paragraph below:

''The vision of Industry 4.0 is that in the future industrial companies will build global ones networks that connect their machines, factories and storage facilities in the form of cyber-physical systems, which intelligently control each other by sharing the information they trigger actions.''

In this particular case, with a text which was slightly more thematically complex for understanding than the other two texts, Google translate used redundant language and an incorrect phrase, which rendered the translated text on IE to be more difficult for interpretation by the user/end reader.

On the other hand, Chat GPT has produced very neat, precise and thematically adequate linguistic structures, that are aligned with the specific genre and discourse of each professional filed. Chat GPT actually uses contemporary language in line with the current trends in the domains of business and profession. By adjusting the level of language difficulty through special requests, Chat GPT can give several versions of translation, that include explanatory sentences, which makes the translated text clearer and more comprehensible. This outcome is aligned with one of the main principles of the second school of translation where '' the translator wants the produced text to be understood easily and needs to provide some additional information related to the subject matter to be able to establish the necessary equivalence between the two languages as well as not to force the capacity of the receptors (readers).'' [3]. The overall feel is that Chat GPT enables better understanding of the translated text, and this is mainly due to the fact that it uses stable sentence structure, appropriate grammar and semantics, accurate technical terms, sophisticated and refined academic language, adequate punctuation, linking words, and clauses, and additional words and sentences when needed in order to expedite the understanding of the topic and the context. The message of the text is conveyed without any obstacles even when the language is complex, making Chat GPT a reliable assistant in the search for meaning.

These are some examples of how the translations differ from each other through different platforms:

Google translate-**Chat GPT**

road transport elasticity- **road transport flexibility**

exploitation units- **operating units/transport units**

type of transport- **mode of transport**

a large number of destinations- **a broad spectrum of destinations**

high energy consumption per transport unit- **elevated energy consumption per tonne-kilometer**

natural habitats are now drastically altered and fragmented-**natural habitats today have been drastically altered and fragmented**

long-term drying up of shallow Slatina lakes -**prolonged drying of shallow saline lakes**

Another interesting observation was made. The text on Environmental protection was translated from Serbian into English through both Google translate and Chat GPT platforms, and then compared to a translation that was done by a human translator. Namely, this passage of professional text on EP was taken from a scientific journal which is bilingual, and contains the versions of the text both in Serbian and English. The journal authors submit their manuscripts in Serbian, and then a professional language interpreter does the translation of papers into English. Unlike computer-based translations done by Chat GPT and Google translate, the human-based translation showed a deeper understanding of the topic, and therefore, a better choice of professional terms. Whereas Google translate and Chat GPT suggested the usage of a phrase the establishment of protected areas, the human translator came up with the phrase the designation of protected areas, whereby designation is a much more comprehensive term which stands for both installment and legal valorization of protected areas.

The human translator employed by the journal might have had access to both translation platforms, as well as to numerous printed and online dictionaries, yet, she opted for the term designation instead of establishment. This could be explained by her experience as a translator, her acquaintance with the topic and the adequate terminology which she has been exposed to throughout her translating practice. Trough such choice she asserted her knowledge of the topic and imposed a meaning that can be considered trustworthy, as the only possible option that could have completed the sentence. This leads to a conclusion that human intervention is needed even with the autonomous digital platforms such as Google translate and Chat GPT, not only to double check the meaning, but also to remove all the possible mistakes from the text. Right now, it cannot be stated that users should absolutely rely on translating platforms, and take them for granted, since these platforms, no matter how efficient, are still not impeccable. Therefore, human impact is still strong in the area of translation studies, and should not be overlooked, even when users opt for quick solutions through digital translation tools. If the translation is of high importance for the user/end reader, if it is to entail further communication, or be used for a specific purpose and occasion, it is advisable and recommendable to have computer-based translation inspected by a language professional, a translator or interpreter who has the proper training in the specific professional language area. This way inconveniences might be avoided as well as any possible misunderstandings that could have serious consequences in the business settings or professional discourse.

Bearing in mind a possible lack of reliability of AI in the domain of translation, another small-scale research has been conducted as a follow-up activity to test other aspects of AI functionality in the area of languages. Namely, it has been analyzed how AI creates transcripts of spoken language during online classes of English for specific purposes through the Teams platform. This platform has been widely used in the Serbian system of higher education since the times of the pandemic, and is still one of the possible means of communication between professors and their students.

When it comes to oral grammar lectures for ESP students, it has been noticed that the Teams AI tends to make errors in speech recognition and consequently in the production of transcripts for such spoken acts. For instance, in a grammar lesson on the passive voice, AI has misinterpreted the following speech samples:

teacher: ''mentioning the doer of the action'' / transcript: ''mentioning the *door* of the action''

''We use to be'' / we use to *B*/

''OK, we have to be careful when to use are when to use is''. / when to use *R* when to use *ease*''

'' A car was stolen last night" /*Akar* was stolen last night

''for indefinite past'' / for indefinite *pass*

As it can be seen, the mistakes in the transcript are serious and completely change the semantics of the original speech, through the usage of wrong, inappropriate words, which are nonsensical. So, if a student was just to read the lecture from the recorded transcript, the written form of the lecture would not be of much use. Actually, it could mislead the student, and put him/her in a position to learn something incorrectly, and thus form a bad learning habit.

Teachers might be accountable for some errors themselves due to unclear pronunciation, changes in voice, fast speech, or tiredness after long hours of lecturing. Also, some technical problems with the equipment might arise, especially with the microphone or the internet connection, that could misguide the AI. However, the samples shown above indicate that the AI does not follow the storyline/script of the lecture, in this case the lecture on the passive voice, but that it rather supports word for word transfer of the spoken language into the written form, unaware of the linguistic background of the topic. Interestingly, the lecture on Smart homes for Civil engineering students has shown different results. The transcribed language of this sample is realistic, fluent, content-based unlike the previous sample, and representable of the professional narrative and the specialized language that was used in communication between the teacher and the students. Here are some samples of the speech, where the punctuation seems to be the only obstacle in reading and understanding the text:

Transcript

April 23, 2025, 3:00PM

dr Danica Milošević 0:04

OK. And I will share one presentation with you.
It's about smart homes.
Or smart houses.
They are not that typical in our area because they are quite costly.
However, they are considered to be a good eco friendly solution and they are.
Very much about renewable energy.
And also about saving energy so they can be quite effective in this sense.
So they require a lot of technology they require.
Connecting or interconnecting all the household appliances and technical systems around the house so that.
Each device can communicate with another one, and you can regulate this by using.
Remote controls.
So even if you are not at home, you can turn on and turn off certain devices.
And you can monitor the house.
You can check the state of the house.
And this can be good because this way you can save a lot of.
Energy.
And you can definitely lower the bills for electricity.
So such houses can pay off.

Slika 1. *Segment of the lecture on Smart homes transcript from the Teams platform*

4. CONCLUSION

The small-scale research whose results have been displayed in this paper has shown that AI, with all its possibilities to offer, can be useful for educational purposes, and help its users through user-friendly interfaces to finish their assignments and tasks more promptly. However, the final outputs given by the digital tools, such as Google translate, Chat GPT or speech recognition module on the Microsoft Teams platform should be approached cautiously, and inspected again before usage, preferably by a human expert who has experience in the area of English for Specific Purposes (ESP), that is the specialized, professional language that was in focus of this research. Students with less knowledge on ESP, can be presented with various forms of translation, but might encounter difficulties trying to self-correct them, or might be unaware of the need for corrections in the first place. The more experienced learners will have doubts on which versions of translated text to trust more readily, and which ones to select as their final choice, because the translations might have nuanced, but still significantly different meanings. Moreover, it has been concluded that the transcripts of lectures on the Teams platform must always be checked by the language teachers who gave the lectures, if the transcripts are to be used as study materials by the students who did not attend the lectures, or the students who did not take the notes during the lectures. This is necessary since the transcripts might contain minor mistakes, such as the ones in punctuation, but can also be teaming with serious grammar mistakes, and semantic failures, that can alter the meaning of the lecture completely. All in all, this leads to the standpoint that artificial intelligence should be treated as our personal assistant, not as our tutor or guide. The mentorship is still needed by persons who have experience and expertise, and who are qualified to do their jobs.

REFERENCES

[1] W.Benjamin, "Task of the Translator", in Illuminations, edited by Hannah Arendh, translated by Harry Zohn, Schocken, 1986, pp. 69-82.

[2] R. Alhasmi, "Image and Truh: Paradigms of Modern Translation Theory", in Language, Literature and Interdisciplinary Studies, LLIDS 3.1, [Online] Dostupno na: http://ellids.com/archives/2019/10/3.1.-Alshami.pdf, Pristupljeno:8.9.2025.

[3] L. Tanrikulu, "Translation theories", [Online] Dostupno na: https://www.academia.edu/40858572/TRANSLTION_THEORIES , Pristupljeno:15.9.2025.

LIKOVI ANIMIRANIH FILMOVA KAO MODELI VREDNOSTI U PERCEPCIJI DECE PREDŠKOLSKOG UZRASTA

ANIMATED FILM CHARACTERS AS MODELS OF VALUES IN THE PERCEPTION OF PRESCHOOL CHILDREN

Vera Virijević Mitrović i Sandra Stojković

Sadržaj – U ovom radu analiziramo uticaj likova popularnih animiranih filmova na formiranje vrednosnog sistema dece predškolskog uzrasta. Hipoteza istraživanja je da su animirani likovi, u kontekstu rastuće dominacije virtuelnog sveta i uloge medija, preuzeli primat u odnosu na tradicionalne uzore poput roditelja, vaspitača i vršnjaka. Istraživanje kombinuje kvalitativne i kvantitativne metode, kako bi se, pored brojčane zastupljenosti pojedinih likova, analizirale njihove vrednosti u dečjem doživljaju. Anketirano je šest vaspitnih grupa dece u vrtićima u Nišu, uzrasta od četiri do šest godina. Rezultati pokazuju da deca dominantno formiraju sistem vrednosti u porodici i realnom okruženju, dok se likovi iz animiranih filmova doživljavaju kroz prizmu društvenih vrednosti preuzetih iz porodice. Diskusija podrazumeva osvrt na moguće probleme u identifikaciji dece sa negativnim likovima ili nepostojanje kritičkog osvrta na plasirane stereotipe i vrednosne sisteme animiranih likova kod vaspitno zapostavljene dece.

Ključne reči: Mediji i dete. Animirani film. Stereotip. Uzori u virtuelnom svetu.

Abstract – In this paper, we analyze the influence of the characters of popular animated films on the formation of the value system of preschool children. The research hypothesis is that animated characters, in the context of the growing dominance of the virtual world and the role of the media, have taken precedence over traditional role models such as parents, educators and peers. The research combines qualitative and quantitative methods to analyze, in addition to the numerical representation of individual characters, their values in children's experiences. Six educational groups of children in kindergartens in Nis, aged four to six, were surveyed. The results show that children dominantly form a value system in the family and real environment, while characters from animated films are experienced through the prism of social values taken from the family. The discussion includes a review of possible problems in the identification of children with negative characters or the absence of a critical review of the placed stereotypes and value systems of animated characters in educationally neglected children.

Keywords: Media and the child. Animated film. Stereotype. Role model in virtual world.

1. UVOD – FAKTORI KOJI UTIČU NA FORMIRANJE VREDNOSNOG SISTEMA DETETA

Po učenjima razvojne psihologije, postoji sledeća hijerarhija faktora koji utiču na formiranje vrednosnog sistema predškolskog deteta: 1. porodica kao primarni izvor socijalizacije i model ponašanja, 2. predškolska ustanova, vaspitači, t.j. vaspitno-obrazovne institucije, 3. vršnjaci, kroz uticaj prihvatanja i osećaj pripadnosti, 4. kultura i društvo, kao širi socijalni kontekst, 5. mediji i digitalna kultura (*kultura ekrana*) – televizija, internet, društvene mreže [1]. Period ranog detinjstva se prepoznaje kao vreme intenzivne izgradnje identiteta, kada dete, kroz interakciju sa svojom primarnom okolinom – porodicom, vršnjacima, vaspitačima, ali i putem posrednih uticaja kao što su knjige, filmovi i drugi medijski sadržaji – upija modele ponašanja, opaža odnose u društvu, usvaja norme i vrednosti koje će kasnije biti usađene u same temelje njegovog socijalnog funkcionisanja. U tom kontekstu ispituje se ne samo značaj direktnog ljudskog uticaja, već i dominacija medijskih proizvoda, pre svega animiranih filmova, koji se zbog svoje vizuelne privlačnosti, dinamike radnje, karakterističnih likova i emocionalno obojene naracije, nameću kao izuzetno moćni alati u formiranja pojmova o svetu koji dete tek počinje da upoznaje i razume.

U porodici dete usvaja obrasce komunikacije, emotivne veze i osećaj pripadnosti, ali i norme i vrednosti koje oblikuju njegovo razumevanje sveta. Roditelji se u tom procesu javljaju kao primarni modeli ponašanja, čije postupke i stavove dete nesvesno imitira i vremenom internalizuje kao sopstvene. Postavlja se pitanje, na koje smo u ovom istraživanju pokušali da nađemo odgovor, u kojoj meri deca predškolskog uzrasta formiraju svoje vrednosne stavove u odnosu na likove animiranih filmova koje neretko doživljavaju kao uzore.

2. TEORIJSKI OKVIR

Oslanjajući se na bazične premise razvojne psihologije, da je dečji um u predškolskom uzrastu izuzetno sugestibilan, otvoren za nova iskustva i sklon identifikaciji sa likovima koji na njega ostavljaju snažan utisak, ne čudi što se junaci animiranih filmova veoma lako kod dece etabliraju kao uzori, idoli, model ličnosti koje dete želi da oponaša, što se manifestuje kroz govor, kretanje, stavove, želje i vrednosne sudove. Mediji, a naročito animirani filmovi, zauzimaju značajno mesto u medijskom prostoru deteta i predstavljaju ne samo izvor zabave, već i potencijalni instrument obrazovanja, vaspitanja i socijalizacije, što postavlja složeno pitanje o njihovoj ulozi, efektima i dugoročnim posledicama po razvoj

Vera Virijević Mitrović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: vera.virijevic.mitrovic@akademijanis.edu.rs).

Sandra Stojković, studentkinja Akademije tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: stojkovicsandraa545@gmail.com).

deteta. Dok s jedne strane mogu podsticati kreativnost, empatiju, razumevanje različitosti i usvajanje pozitivnih vrednosti, s druge strane mogu, ukoliko nisu pažljivo odabrani i kritički posmatrani, uvesti dete u svet negativnih stereotipa, nasilja, površnosti i izvrnutih vrednosnih poruka koje ono nekritički usvaja. Upravo u tome leži i društvena odgovornost kako stvaralaca medijskih sadržaja tako i onih koji posreduju u njihovoj recepciji – roditelja, vaspitača i celokupnog vaspitno-obrazovnog sistema.

Učenje po modelu kao jedan od oblika socijalnog učenja najčešće podrazumeva nekritičko usvajanje obrasca ponašanja imitiranjem odraslih, okruženja. Na osnovu ponovljenog eksperimenta sa lutkom Bobo (*Bobo-doll experiment*) Alberta Bandure [2], prihvaćeno je da je učenje po modelu itekako prisutno čak i kada je ponašanje modela preneto deci putem ekrana. Time zaključujemo da je učenje po modelu u medijskom prostoru dvosmerni proces u kojem dete, istovremeno podložno spoljnim uticajima i sposobno za aktivno oblikovanje identiteta, bira uzore u skladu sa sopstvenim potrebama, emocijama i ambicijama. Medijski junaci, naročito iz animiranih filmova, nisu samo izvor zabave, već i prenosioci kulturnih obrazaca, emocionalnih poruka i društvenih simbola koji oblikuju ličnost u ranom detinjstvu [3].

Prilikom analize uticaja animiranih filmova na decu, najpre smo dugometražni animirani film posmatrali kao paralelu klasične bajke na osnovu čijeg je sižea najčešće pripreman i scenario animiranog filma, naročito ako se osvrnemo na produkciju ”Dizni studija”. U bajci i u animiranoj bajci osnovne moralne vrednosti i pouke nose junaci u antitezi dobra i zla, dihotomiji stereotipnih likova, simbolici koja je nasleđe viševekovne književnosti za decu. Animirani film smo prvobitno sagledali kao gotovu vizuelnu interpretaciju bajke, gde se priča interpretira kroz dizajn likova, pokret, scenografiju, kostim, intenzivne boje, muziku, ritam montaže i sve ostale vizuelne i zvučne efekte koje kod dece izazivaju jak emotivni doživljaj filma.

Međutim, moramo istaći paralele po kojima su razlike između ranije *kulture knjige* i savremene *kulture ekrana* prilično oštro suprotstavljene [1]: 1. dok je kod knjige sve podređeno jedinki pisca kao i jedinki koja čita, prenos znanja je vertikalan, dotle savremena kultura ekrana postavlja mnogostrukost u prvi plan, kreacija audiovizuelnog dela je uvek kolektivna, prijem dela je kolektivni, znanje se širi globalno; 2. po kognitivnim aspektima, književnost odlikuje trajanje (temporalnost), linearna misao, logika narativnog nizanja, dok je kod kulture ekrana istaknuta prostornost, nelinearna, umrežena misao, misao zasnovanu na analogiji i bliskosti, koja dozvoljava koegzistenciju suprotnosti; 3. po psihološkim aspektima, književnost postavlja čvrste granice ličnosti, ističe realnu suprotnost svake relacije, daje istaknut status verbalnim formama izražavanja, dok kod kulture ekrana uočavamo isticanje višestrukog identiteta, virtuelni pol svake relacije, ona vrednuje mnogostruke i promenljive identitete i naglašava neverbalne forme saopštavanja.

Jedino sagledavanjem i istovremenim uvažavanjem osobina koje animirana bajka nasleđuje od klasične bajke, i onih osobina koje čine animirani film jednim od sveprisutnih i sugestibilnih pojavnih oblika *kulture ekrana*, možemo nazreti kompleksnost bavljenja uticajem animiravnih filmova na decu savremenog društva. Razlika između ova dva shvatanja animirane bajke je ogromna, i ilustrovali bismo je suprotnim asocijacijama koje kod nas budi bajka *Crvenkapica* Braće Grim i savremena SF franšiza *Spajdermen*. Ukoliko bi se ekipa nekog modernog studija animacije čak i prihvatila da osavremeni *Crvenkapicu*, ishod bi bila priča o promenljivom entitetu sa mnogostrukim izborom na svakoj rasksnici u više svetova, nešto poput *Crvenkapica: putovanje u Spajderverzum*. Deca savremenog doba su na tački razvoja društva i kulture koja podrazumeva i upoznavanje kulturnog nasleđa prethodnih vekova koje se je prenosilo kroz pisanu reč i književnost, ali i subjekti preovladavajućeg uticaja internet-kulture i virtuelnih svetova, koja hita ka budućnosti u kojoj su veštačka inteligencija i elektronski surogati vaspitača pretpostavljena mogućnost

3. PERCEPCIJE LIKOVA CRTANIH FILMOVA KOD DECE PREDŠKOLSKOG UZRASTA

Ispitivanje percepcije likova crtanih filmova obuhvatilo je 87 ispitanika predškolskog uzrasta [4]. Podaci su prikupljeni u formi strukturiranog intervjua, ali je on proširen i dopunjen spontanim komentarima dece. Pored usmenih odgovora, deci je ponuđena mogućnost da nacrtaju svog omiljenog junaka, čime je istraživanje prošireno i na domen vizuelnog izražavanja. Ovi crteži su, uz odgovarajuću interpretaciju, poslužili kao dodatni kvalitativni materijal za analizu simboličkih elemenata, boja, veličina i drugih vizuelnih komponenti koje mogu ukazivati na stepen bliskosti sa likom, doživljaj njegove snage, dobrote ili neke druge osobine. Metodološki pristup kombinuje kvalitativne i kvantitativne metode, s obzirom na potrebu da se, pored brojčane zastupljenosti određenih pojava, ukaže i na dublji smisao i individualne nijanse u dečjem doživljaju medijskih sadržaja. Osnovna struktura intervjua sastojala se od nekoliko ključnih pitanja koja imaju za cilj da ispitaju ne samo omiljenog junaka, već i emocionalne i kognitivne razloge koji stoje iza tog izbora, kao i eventualno ponašanje deteta koje je inspirisano tim likom. Otvarajuće pitanje bilo je: „Ko je tvoj omiljeni crtani lik?“, što je omogućavalo detetu da slobodno imenuje bilo kog junaka koji mu je drag, bez ograničenja na određene žanrove, produkcije ili vremenski okvir. Nakon toga, usledilo je pitanje: „Zašto ti se on/ona sviđa?“, koje je usmeravalo dete da izrazi sopstvenu emocionalnu ili vrednosnu procenu, bilo da je u pitanju izgled, ponašanje, sposobnost, glas, tip animacije, tok priče u kojoj lik učestvuje ili neka konkretna scena koja je ostavila snažan utisak. Ovo pitanje je često iniciralo duži razgovor i podsticalo dete da detaljnije opiše svog idola, pri čemu su ispitivači bili otvoreni da postave podpitanja kao što su: „Šta ti se najviše dopada kod njega/nje?“, „Da li bi voleo/volela da budeš kao on/ona?“, ili „Šta bi uradio/uradila kada bi ga/je sreo/srela?“ U nekim slučajevima, radi dublje analize stepena identifikacije, postavljano je pitanje: „Da li se ponekad ponašaš kao on/ona?“ ili „Da li se igrate tako da ti budeš taj junak?“, što je otkrivalo da li dete spontano prenosi osobine junaka u svoj svakodnevni život, igru, komunikaciju sa vršnjacima ili način izražavanja. U pojedinim situacijama, umesto formalnog ispitivanja, istraživači su obavili spontan

razgovor sa detetom, oblikovan kao neformalno ćaskanje tokom igre ili likovne aktivnosti, čime se stvaralo opuštenije okruženje, pogodno za iskrene i autentične iskaze. Ukoliko je dete bilo naročito komunikativno, postavljana su i implicitna pitanja koja se tiču emocionalnog odnosa sa junakom, kao što su: „Kada si gledao/gledala taj crtani, da li si se nekad rasplakao/rasplakala?“, „Šta misliš, da li je on/ona dobar/dobra prema drugima?“, ili „Kako se ponaša kad je neko tužan?“, čime se ispitivala ne samo identifikacija, već i vrednosna orijentacija koju dete iskazuje kroz tumačenje postupaka junaka.

U okviru sprovedenog ispitivanja [4], u kome je učestvovalo ukupno 87 dece predškolskog uzrasta (od 4 do 6 godina) iz tri različite predškolske ustanove, prikupljeni su podaci koji ukazuju na to koji su junaci animiranih filmova najčešće birani kao omiljeni i kako su deca objašnjavala svoj izbor. Istraživanje je sprovedeno putem intervjua, crteža i spontanog razgovora sa decom, što je omogućilo dublje razumevanje emocionalnih i etičkih razloga koji stoje iza identifikacije sa određenim likovima. Na osnovu analize odgovora, utvrđeno je da se pojavljuje jasna dominacija određenih junaka, uglavnom iz komercijalno veoma prisutnih i višestruko emitovanih animiranih franšiza, ali se istovremeno ukazuje i na raznovrsnost motivacije kod dece u vezi sa njihovim izborom, koji je uvek emocionalno obojen.

Tabela I N*ajpopularniji junaci i osobine značajne deci*

crtani lik	broj dece (od 87)	dominirajući pol	razlozi izbora (obeležja)
Spajdermen	16	dečaci	hrabar, spasava ljude, leti…
Elza (*Zaleđeno kraljevstvo*)	14	devojčice	ima moći, lepa je, peva, brine o sestri
Patrolne šape (*Patrolne šape*)	12	dečaci/devojčice	pomažu drugima, tim, spašavaju svet
Maša (*Maša i medved)*	10	devojčice	vesela, nestašna, duhovita, dobra prema drugima
Blic (Cars)	8	dečaci	brzina, lep izgled
Minjoni	7	dečaci i devojčice	smešni, nestašni
Ana (*Zaleđeno kraljevstvo)*	5	devojčice	hrabra, brižna
Supermen	4	dečaci	jak, spasava svet
Zuma (Patrolne šape)	3	dečaci	voli vodu, najbolji u timu
Pikaču	3	dečaci i devojčice	moćan, može da puni struju
Miki Maus, Njaša, Rapanzel, Sofija	5	dečaci i devojčice	smešan, zabavan, hrabra, pametna….



Slika 1. *Elza,* devojčica, 6 god; *Spajdermen se bori protiv neprijatelja*, dečak, 6 god

3. PERCEPCIJE LIKOVA CRTANIH FILMOVA KOD DECE PREDŠKOLSKOG UZRASTA

Pojam uzora, kao i pojam idola, ima značajno mesto u razvoju deteta, posebno u predškolskom periodu kada dete traži privlačne modele ponašanja i vrednosti. Uzor se obično shvata kao osoba koja predstavlja pozitivan primer kome se dete želi približiti, dok se idol u savremenoj kulturi često vezuje za idealizovane medijske ličnosti, koje dete može prihvatiti bez stvarnog razumevanja njihovih osobina, što ovu pojavu čini složenom u ranom detinjstvu [5]. Idol se povezuje sa figurama koje imaju izrazitu emocionalnu ili idealizovanu vrednost, bez razumevanja stvarnih osobina. Često kod dece uključuje selektivno usvajanje pojedinih osobina, ponašanja, načina govora, mimike. Predškolsko dete lako usvaja medijski privlačne likove iz crtanih filmova, video-igara i interneta kao uzore, najčešće zbog vizuelne atraktivnosti ili potrebe da bude deo grupe. Takva identifikacija ne mora biti potpuna, već dete selektivno preuzima pojedine osobine različitih likova i tako formira sopstveni model koji odražava njegove unutrašnje potrebe i želje. Odrasli ne mogu ukloniti uticaj medijskih modela, ali mogu razvijati kod deteta kritičku distancu i sposobnost procene onoga što mu se nudi. U savremenom okruženju prepunom digitalnih sadržaja i idealizovanih likova, postaje ključno da dete nauči da razlikuje stvarne, trajne i vredne modele od izmišljenih modela površnih osobina, kako bi izgradilo stabilan i zdrav sistem vrednosti.

Stereotipovi u animiranim filmovima su najupečatljiviji oblik medijskog uticaja na formiranje dečjih shvatanja o svetu, ulogama, identitetu, društvenim odnosima. U većini globalno popularnih animiranih bajki možemo prepoznati rodni ili polni stereotip, kulturološki i rasni stereotip, stereotipove vezane za društveni status, fizički izgled i inteligenciju, kao i stereotipove u prikazu porodičnih uloga. Uticaj medija na decu ranog uzrasta, što potvrđuju brojna istraživanja, jasno se vidi u formiranju rodnih stereotipa putem popularnih animiranih filmova. Posebno se ističe snažan uticaj Diznijevih prikaza ženskih likova na devojčice, jer ih usmeravaju ka savremenoj, feministički oblikovanoj predstavi heroine [6]. U savremenom svetu, gde deca sve više informacije dobijaju iz masovnih medija, a sve manje od roditelja i vaspitača, postavlja se pitanje ravnoteže između tih uticaja u formiranju stavova o polu i rodu. Postaje evidentna transformacija stereotipa u

skladu s promenama u društvenoj percepciji i odnosu prema grupacijama tako da određene društvene pojave i obrasci ponašanja, kao i stereotipovi u animiranim filmovima 1) odražavaju aktuelne društvene vrednosti i prihvaćene modele ponašanja; 2) anticipiraju i krče put novim društvenim vrednostima. Primer koji potvrđuje ovu tvrdnju je i dugometražni animirani film *Divlji robot* (*The Wild Robot*, Dreamworks, 2024), priča o prirodnom i veštačkom programiranju u kome se prepliću uloge emotivno razvijenog humanoida, kao što je uloga majčinstva, nege, brige i odgajanja, sa ulogom uslužnog kućnog robota koji je programiran da bude ljubazan, ali stvoren je bez emocija. U filmu se robot Roz greškom našao na pustom ostrvu okružen divljim životinjama, gde postavlja sebi zadatak da odgoji pače bez majke, ali i da štiti divlji svet ostrva. Sve društveno-aktuelna pitanja uključena su u ovoj priči: poput one o omnipotenciji veštačke inteligencije i gorućim ekološkim temama. Drugi oštećeni robot iz brodoloma zapanjen je onim što je Roz postala: „Ti uopšte ne bi trebalo ništa da osećaš“. Postavlja se pitanje o tome kako deca zahvaljujući ovom animiranom filmu shvataju pojam bića sa veštačkom inteligencijom. U percepciji dece predškolskog uzrasta: Da li VI može da ima empatiju? Ovaj film po svemu sudeći ima onaj medijski potencijal da kod dece proširuje shvatanja o novim tehnološkim pojavama koje oblikuju buduće društvo.

U svim navedenim i mnogostrukim drugim nadogradnjama koje se u odnosu na medijski potencijal formiranja uzora, modela ponašanja i pomeranja granica postojećih ka projektovanim i mogućim promenama u društvu informatičke ere, roditelji i vaspitači moraju biti svesni sopstvene odgovornosti u odabiru i doziranju medijskih informacija i uzora deci. Jer “mnogi vidovi projekata virtuelne realnosti postaju nametnuti ideal življenja i to ne kao vid pluralističkog bogatstva u ljudskom postojanju i koegzistenciji te dve realnosti, već supstitucijom virtuelne nadmoći.” [7]

Porodični model ima ključnu ulogu u formiranju vrednosnih sistema, stereotipova i uzora, jer se osnovne etičke vrednosti najpre usvajaju u porodici. Sistem vrednosti koji dete ponese iz porodičnog okruženja često se projektuje na junake animiranih filmova, koje ono doživljava kao modele ponašanja. U slučajevima nestandardnih porodica ili onih sa narušenim vrednostima, gde su prisutni nasilje, poroci i drugi poremećaji, može doći do projekcije negativnih uzora, kao što su brutalnost, nasilničko ponašanje i pogrešno prihvatanje virtuelne realnosti kao stvarnog života. Zbog toga je važno kontrolisano korišćenje medija, uključujući animirani film, kako bi se doprinelo formiranju zdravih vrednosnih i emotivnih obrazaca koji se dalje razvijaju i nadograđuju u vrtiću.

5. ZAKLJUČAK

Uticaj medija i uticaj porodice se prelivaju; deca dominantno formiraju sistem vrednosti u porodici i realnom okruženju, dok se likovi iz animiranih filmova doživljavaju kroz prizmu društvenih vrednosti preuzetih iz porodice.

Uzori više nisu ograničeni na porodicu, vaspitače i prijatelje, već obuhvataju fiktivne junake, influensere i medijske ličnosti, što zahteva razvijanje sposobnosti kod dece da razlikuju stvarno od izmišljenog, trajno od prolaznog i suštinsko od površnog, kako bi njihovo detinjstvo bilo oblikovano autentičnim vrednostima, umesto nametnutim modelima. Veoma je značajno da roditelji i vaspitači selektuju vizuelne sadržaje koji se prezentuju deci, razgovaraju s decom o njima i razvijaju vrednosne stavove i sudove. Deca predškolskog uzrasta često ne razlikuju fikciju od stvarnosti niti prihvatljivo od neprihvatljivog ponašanja, što učenje po modelu čini složenim. Zato je ključna uloga odraslih – roditelja, vaspitača i staratelja – koji, kroz integrisani pristup vaspitanju, razvijajući i medijsku pismenost, objašnjavaju, usmeravaju dete da razvije kritičko mišljenje i svesno bira uzore, umesto da ih nesvesno imitira.

Savremeno detinjstvo odvija se u uslovima medijske preeksponiranosti, stalne izloženosti digitalnim sadržajima i medijskih ličnosti koje se promovišu kao modeli identifikacije. Potreba za kritičkim sagledavanjem pojma uzora postaje ne samo psihološka i pedagoška, već i društvena odgovornost svih koji učestvuju u razvoju mladih.

LITERATURA

[1] Ž. F. Bah i dr., Dete i ekrani – zdrava upotreba bez štetnih posledica, Beograd: Službeni glasnik, 2021.

[2] A. Bandura, “Influence of models’ reinforcement contingencies on the acquisition of imitative responses”, *Journal of personality and social psychology,* vol. 1, no. 6, pp. 589, 1965.

[3] Č. Čupić, *Medijska etika i medijski linč*, Beograd: Čigoja, 2010.

[4] S. Stojković, *Uticaj likova animiranih filmova na decu predškolskog uzrasta*, Niš: ATVSS, 2025

[5] Dž. Tjurou, *Mediji danas: uvod u masovne komunikacje II*, Beograd; Clio, 2013.

[6] V. Virijević Mitrović, “The Transformation of Woman Stereotype Presented to Children trough Disney Animated Fairytales”, *The Power of Knowledge*, vol. 60, no. 5, pp. 769-774, 2023.

[7] K. Bogdanović, *Deset osnovnih paleotehničkih principa u oblikovanju i građenju*, Kraljevo: Narodni muzej, 2001.

TELODATA, UMETNIČKE PRAKSE I MEDICINSKE PROCEDURE
DATABODY, ARTISTIC PRACTICES AND MEDICAL PROCEDURES

Dragana Dragutinović, Srđan Denčić i Bojana Nikolić

Sadržaj – Telo je mesto glavnog događaja, živo telo ili opna za sadržaj koji podleže transformaciji u postupcima umetnika. U ovom radu će biti predstavljen rad umetnika sa telom, posmatran kao stav, mera, promišljanje ili teorija iz umetnosti/teorija umetnika, u prisustvu medicinskih procedura koje saučestvuju u transformaciji. Umetničko delo prevazilazi likovni ili vizuelni produkt/predmet i postaje akcija ili aktivnost u samom životu, zadatom ambijentu, kao osnovna telesna funkcija, gest, svesna manipulacija, podloga i oruđe, polje za uspostavljanje društvenih odnosa i normativa. Da Vinčijev Ornitopter u *Fly like a bird* mehanici uređaja za letenje načeo je mit o hibridnim spojevima i kibernetskim produžecima ljudskog tela. Analizom fenomena tela, *art and living* medijuma umetnika podrvrgnutog tretmanima biomedicine i/ili hirurgije, interdisciplinarnim pristupom, izvode se i zaključci koji zalaze u otvoreno polje prostetičke estetike i etike u postdigitalnoj (sf)eri. Telo je skup podataka koji se mogu prikupljati, menjati, arhivirati i prikazivati u otvorenom digitalnom sistemu.

Ključne reči: Umetnost tela. (STEM) ćelije. DATA. EMG. Parazit. Soul Catcher 2025. Prostetika. STELARK. Neuralink.

Abstract – The body emerges as the primary site of artistic inquiry whether conceived as a living organism or as a membrane through which content is subjected to transformation within the artist's operative procedures. This paper examines artistic practices involving the body, approached as a standpoint, a measure, a mode of reflection, or a theoretical framework within art and the artist's own discourse, in conjunction with medical procedures that co-participate in processes of transformation. The artwork extends beyond the visual or fine-art product/object and becomes an action or activity embedded in life itself and its given environment manifested as a fundamental bodily function, a gesture, an act of deliberate manipulation, a substrate and an instrument, as well as a field for the establishment of social relations and norms. Leonardo da Vinci's Ornithopter, within the mechanics of the *Fly like* a bird flight apparatus, inaugurated the myth of hybrid assemblages and cybernetic extensions of the human body. Through an interdisciplinary examination of the body as an *art-and-living* medium subjected to biomedical and/or surgical interventions, this study advances insights that extend into the open field of prosthetic aesthetics and the ethics of embodiment in the post-digital SF(sph)ere. The body is understood as a data set that can be collected, modified, archived, and displayed within an open digital system.

Keywords*:* Body art. (STEM) cells. DATA. EMG. Parasite. Soul Catcher 2025. Prosthetics. STELARC. Neuralink.

1. TELODATA

Techno-cyber telo u kulturi, bol/est/no mesto, šupljina u koju je moguće postaviti tehnološke komponenete i novu bazu podataka, novu svest i novu razmenu informacija, znanja, osetljivost ili bar trzaje koji podsećaju na čulni odgovor ili oset, čulni impuls koji proizvodi senzacije detektoru bliskoj zamenici, usredsređeno je na ogoljavanje suštine biološkog sklopa odvojenog od emocionalnog bića zarobljenog u metafizici ili bliskoj duhovnoj potrazi. Visokotehnološko doba zahteva promene organizma-tela-individue kako bi se ono uskladilo sa naprednim Drugim. Budućnost je u redizajnu tela, njegovoj transformaciji i prelasku iz subjekta u objekat, posthumanističkom resetu i biokulturi.

Biotehnologija i umetničke prakse i procedure XX veka ukidaju tradicionalnu poziciju i ekskluzivitet rođenog/nestvorenog organizma. Uspostavljaju se nove *trijade* pojmova i odnosa (organizam-telo-mašina, objekat/subjekat-individua-društvo, mutacija/klon/virus, itd.).[1]

Taj proizvod je svesni automat i biotehnološka himera razbijene anatomije čiji se delovi daljinski aktiviraju od strane različitih izvršilaca izvan samog tela. Nesavršeno i propadljivo telo poboljšano je u postupku „galvanoplastike" mehaničkim ili elektronskim uređajima i interaktivnim računarskim mrežama. Ideja o prezervaciji pojedinačnih DATA, pamćenja na nivou neuronskih veza i njihov potpuni transfer na novog nosioca, koja je u osnovi projekta BT, „Soul Catcher 2025", defikcionalizuje se i realizuje upotrebom postojećih procedura ili razradom novih postupaka za uspostavljanje elektronskih/digitalnih veza unutar tela (Neuralink) ili razmenom sa okružujućim Drugim (Neuromant).

Organsko i sintetičko u spoju hibrida, živog i performativnog tela, Stelark naziva novim evolutivnim skokom. Postavljajući se između zagovornika genetičkih transformacija (Ernst Mayr) i/ili prirodne selekcije (E. O. Wilson) i genetički determinisanog ponašanja, vidi neminovnim prilagođavanje ljudskog tela promeni okruženja i novouspostavljenim parametrima koji zahtevaju adaptibilno i umreženo tehno-telo (data-techno bodie).

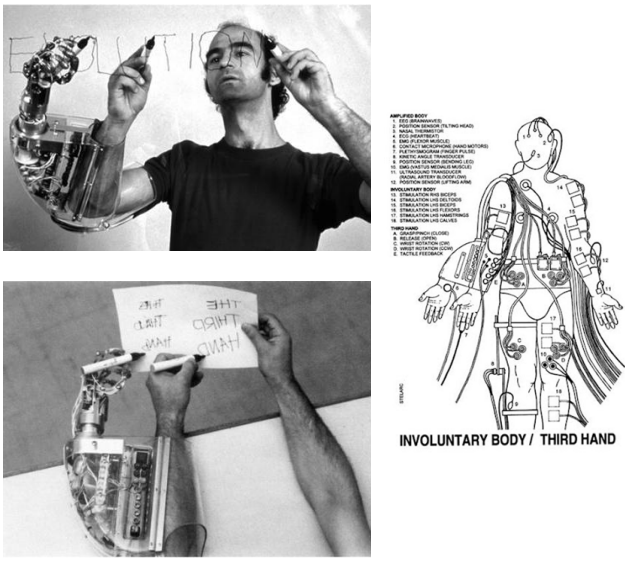
Dragana Dragutinović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: dragana.dragutinovic@akademijanis.edu.rs).

Srđan Denčić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: srdjan.dencic@akademijanis.edu.rs).

Bojana Nikolić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: bojana.nikolic@akademijanis.edu.rs).

STELARK (STELARC) je umetnik (tehno)performansa. Od 1976. do danas razrađuje pojavnost tela i njegove funkcije u saradničkim projektima sa institutima za robotiku, biotehnološkim laboratorijama i istraživačima sistema virtuelne realnosti koristeći medicinski instrumentarij, prostetiku, digitalne i internet tehnologije. U radovima: „Treća/Kibernetska ruka“ (THIRD HAND/VIRTUAL ARM), „Stomačna skulptura“ (STOMACH SCULPTURE), „Egzoskelet“ (EXOSKELETON), „Fraktalno meso“ (FRACTAL FLESH), „Ping telo“ (PING BODY), „Parazit“ (PARASITE), „Movatar“ (MOVATAR) ili „Dodatno uho“ (EXTRA EAR), umetnik istražuje i uvodi u telo domaćina električne stimulacije (EMG), uzgojene stem ćelije parazitirajućih organa kao „intimni i nehotični“ interfejs.

2. *NEHOTIČNO* TELO



Slika 1. *THE THIRD HAND/INVOLUNTARY BODY (Izvor: http://stelarc.org/_.php#page/2)*

„Živimo u doba prostetskih augmentacija i proširenih operativnih sistema, organa bez tela, organa koji čekaju tela“. [2] Telo na ledu, ravnodušno donor-telo, prošiveno telo prošireno tehnologijom uspostavlja otvoren sistem prerade/transformacije i razmene. Biološka ograničenja i evolucioni ćorsokak u kojem se nalazi čovek, doveli su do ideje o telu sa priključenjem, dopunom, dodatkom, arteficijelnim viškom kibernetskog projekta.

Kakav se višak projektuje „ontološkoj osnovi sveta“? Teoretičar medija, Mark Hansen (M. B. N. Hansen) koristi pojam „humana tehnogeneza“ da objasni karakteristike koevolucije čoveka i tehnike. [3] Telo je i dalje „materijalni nosilac medija“ u uslovima koji zahtevaju adaptiranost svakodnevnoj upotrebi digitalnih komunikacionih tehnologija. U radikalnom performansu telo je okrenuto subverzivnom radu i „provociranju oblika života“ ontološke osnove.

Pokreti treće ruke kontrolisani su električnim signalima bedrenog ili trbušnog mišića (EMG). Signali mišićnih kontrakcija određenog izvora se detektuju, pojačavaju i prenose do sistema koji pokreće *rukavicu* (Slika 1).

Ekstatična je zamisao koja prati ples fraktalnih tela, prostorno udaljenih ali povezanih elektronskim vezama, gde je svest nosioca potisnuta alternativnim entitetima. Stelark govori o „klizećoj svesti“ koja se daljinski vodi u sadejstvu svih učesnika, o podeljenoj fiziologiji mnoštva tela i delova u povratnoj sprezi. [5] Kretanje koje je započeto na jednom mestu, sa jednim izvršiocem/akterom može da bude upotpunjeno drugim telom/akerom/aktantom... Telo domaćina vrši hibridne radnje koje su prenete veštine i uslovljavanja drugih sudeonika. Teledirigovano telo može da izvodi čisto mašinsko kretanje, lišeno želje i bez memorije, kretanje koje odgovara zahtevima brze razmene informacija.

3. ARHITEKTURA TELA

Telo je teška skulptura. Podleže zahvatima koji podrazumevaju ureze i dug oporavak, moguće truljenje tkiva. Unutrašnja strana podlaktice je mesto (site) za izvođenje intervencije, ergonomski dobro izabrano mesto jer pruža dobru zaštitu implantatu i omogućava neposredan prenos zvuka (Slika 2). Dodatni slušni aparat/transmiter napravljen je od polietilena (PHDPE - Porous High-Density Polyethylene, US trade name MEDPOR), poroznog biokompatibilnog materijala koji omogućava bolje fibrovaskularno urastanje i uspešniju integraciju (Slika 3). [4] Uvođenjem ekspandera tkiva proširen je deo kože za prijem implanta. Medicinska plastika je uredila izgled trećeg uha do potpune replike postojećih organa na telu nosioca. Dodata vrednost samog aparata je mogućnost prenosa zvuka van tela. Evolutivni skok i san o produžetku organa: „Moći ću da razgovaram sa udaljenom osobom ali ću zvuk osobe koja mi govori moći da čujem u ustima, ako su mi usta zatvorena. Ako otvorim usta, zvuk udaljene osobe moći će da čuje svako ko je u mojoj blizini. Zvuk koji dolazi iz mojih usta“ [5], umetanjem elektronskog aparatusa/zvučnog čipa/senzora pokreta, značio bi potpunu autonomiju telesnog dodatka, „preorijentaciju tela“. [5]



Slika 2. EXTRA EAR/EAR ON ARM
(Izvor: http://stelarc.org/_.php#page/14)

Kao delimični oblici života, druge dve replike uzgajane su u laboratorijskim uslovima. Za jednu su korišćene ljudske

ćelije, za drugu ćelije miša. Ćelije koštane srži autora su treći alternativni oblik arhitekture tela sa mogućim grananjem i nekontrolisanim rastom. [6] Uzbuđenje izaziva i slika igre fraktalnih organa čije se grananje odvija prema zadatim biotehnološkim pravilima.



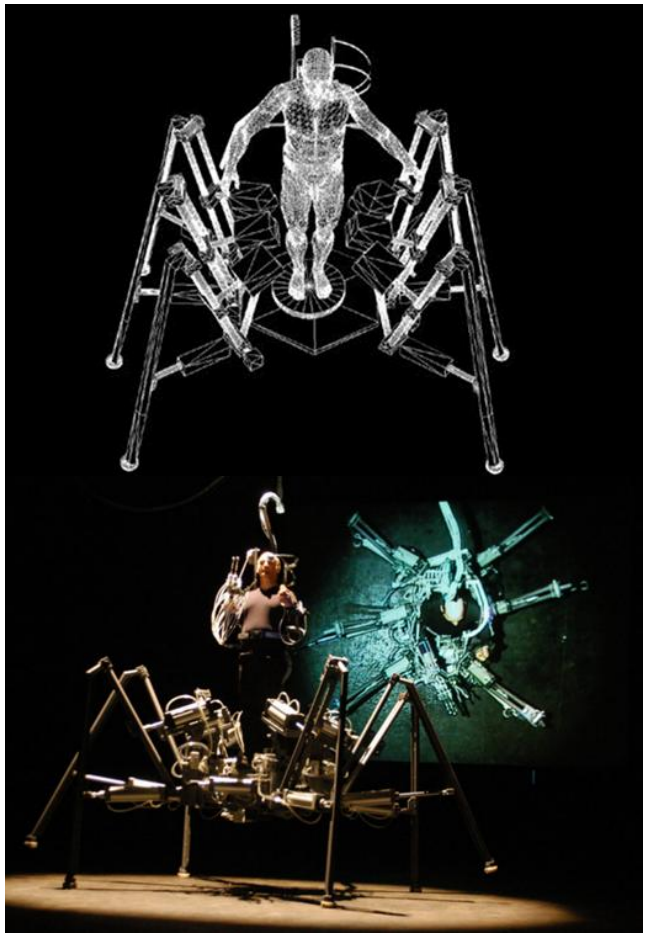
Slika 3. *MEDPOR* implant
(Izvor: http://stelarc.org/_.php#page/14)

U plesu *strašnih* himera (Slika 4), avatar, virtuelni računarski entitet, prema slobodnoj volji autora, ima mogućnost da pristupa njegovom fizičkom telu i aktivira ga u realnom prostoru. [6] Njegove akcije u sadejstvu sa veštačkom inteligencijom postižu svoju autonomiju, i mogu da postanu nepredvidive. Svest je umnožena i nema jednog jedinstvenog nosioca. Bojazan koju izaziva samostalnost Drugog, čini se opravdanom u istorijskom sledu društvenih odnosa koji poštuju, ili bar ističu, individualnost i samosvest pojedinca.

U rizomski uvezanim elektro-neuronskim signalima, VMRL (Virtual Reality Modeling Language) vizuelni softverski interfejs stimuliše mišiće i vrši pokretanje „ravnodušnog“ tela koje ispunjava zadatke sa udaljenih naloga.

MOVATAR je avatar koji se kreće. Arhitektonika tela se razvija u arhitektoniku kretanja koja koristi silu gravitacije i dinamiku mašine koja generiše pokrete. Za telo je povezana šestonoga konstrukcija, pneumatska mašina, „lokomotor“ [5] sa „talasastim ili tronožnim hodom“. „Može da izvodi kretanje u svim pravcima i da se okreće u mestu. Može da čučne i da se podiže širenjem i skupljanjem nogu“. [5] Telo u sastavu mašine može da se rotira oko svoje ose. Egzoskelet (grč. éxō izvan, spolja, napolju, skeletón kostur) je spoljašnja potpora telima zglavkara. EXOSKELETON je i protetička naprava namenjena ljudima sa otežanom funkcijom kretanja. Koristi se i kao dodatna potpora telu kod obavljanja teških fizičkih poslova.

Egzoskelet u Stelarkovoj viziji je *insekt* sa hibridnim čovek-mašina operativnim sistemom za „alternativne“ vrste kretanja. Robotska ruka ima funkciju upravljača. Postoji individualna fleksija prstiju sa rotacijom zglobova. „Mašina se pokreće premeštanjem telesne težine, uvijanjem i okretanjem trupa. Sistemom enkodera na kukovima obezbeđena je regulacija brzine, ritma i smera kretanja. To je poslušan i fleksibilan mehanizam“ [5].



Slika 4. *EXOSKELETON*

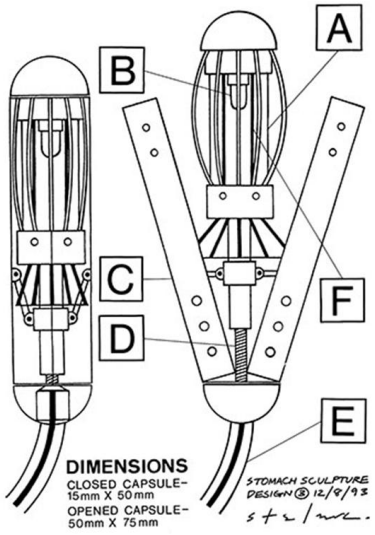
(Izvor: http://stelarc.org/_.php#page/9)

Akceleratori, pneumatski aktuatori i fluidne kontrakcije, unapređene mehanike sledeće generacije Heksapoda generišu zvukove mišićnog sklopa na mehove, slično ptičjem letu.

4. STOMAK

Zlatar, proizvođač mikrohirurških instrumenata i muzičar stvorili su pokretljivu kapsulu sa efektom leptira (Slika 5). Za izradu mehaničkog sklopa izabrani su biokompatibilni materijali: zlato, srebro i nerđajući čelik. Kao estetski dodatak endoskopiji, *stomačna skulptura* (STOMACH SCULPTURE) završava u mekoj šupljini tela. [7] Kapsula se uvodi u telo medicinskom procedurom koja se koristi u dijagnostici i terapiji obolelog tkiva. Eksces sa skulpturom postavlja pitanje etičnosti postupanja sa *zdravim* telom. Sve vreme je pred očima publike nečija unutrašnjost. Kada je postavljena na svoje mesto, kapsula se otvara, zatreperi i vraća se u početno stanje. Elektro-leptir proizvodi zujanje, slično mašini.

Potvrđuje se da je telo šuplje. Prostor u prostoru koji zaprema. Može da bude mesto za izlaganje. Kao što Kron(os) guta svoju decu, Stelark to čini sa mehaničkom napravom. Skulptura se sada nalazi u svom *prirodnom* okruženju. Órganon vlažne mešine spremne za simbiotske spojeve prava je majeutička veština a bol stvaranja *iz utrobe* je realna stvar.



Slika 5. *STOMACH SCULPTURE*
(Izvor: http://stelarc.org/_.php#page/16)

5. „ALL REALITY IS MIXED REALITY“ [3]

Nema ničeg novog u posmatranju ptica. Auguri (lat. Augres) su slutili volju bogova i proricali budućnost iz ptičje graje i njihovog leta. Novo je čitanje mehanike letenja i fiziologije letača. Ikar i Dedal su osvajajući slobodu koristili vosak i perje. Veliki konstruktor Novog veka, Leonardo da Vinči (Leonardo di ser Piero da Vinci) ugrađuje trsku i lan u svoje biomimikrije, krila i sprave za letenje. Čovek (ni)je Birdman. Neuspešni pokušaji da telo mimetički zamahuje krilima snagom sopstvenih mišića završili su glajdingom čoveka-zmaja od svile koji se *rukovodi* snagom vazdušnih strujanja. Elekronsko-mehanički sistem kiborga, biološkog tela sa protezama, sledeća je generacija biomimikrije sa naprednijim tehnologijama, budući da je zubna prostetika stara koliko i ljudi.

Slojevita stvarnost prostire se u različitim dimenzijama zahvaljujući snovima, sećanju, fantaziji, predviđanjima, *genetskom pamćenju* ili *iskustvu vrste*. Objavljuje se kao mit, delo lepe književnosti, gotička novela, naučno-fantastični roman, Dark akademska estetika sa Tumblr-a, dostupno istraživanje bio-laboratorije, romantizovana potraga za humanom osnovom sveta kojoj preti nestanak. Iskra života nije ništa drugo do električno pražnjenje u igrama Demijurga.

U filmu Do kraja sveta (Until the End of the World) Vima Vendersa (Wim Wenders) iz 1991. godine, Sem Farber (Sam Farber) alijas Trevor Mekfi (Trevor McPhee), poseduje napravu koja može da snima vizije i snove. Ova je naprava nastala u laboratoriji i omogućava slepim osobama da vide direktnim prijemom slika u centar za vid koji se nalazi u mozgu. Sličnom tehnologijom koristi se Britanski Telekom u projektu Soul Catcher 2025, gde je besmrtnost pohranjena u čipu koji nosi podatke svega što je njegov nosilac video tokom svog života tako da postaje sadržaj budućeg korisnika. Kapsulirana svest može da bude predmet ekonomije razmene, promene, ulaganja i potrošnje u simuliranoj stvarnosti.

Moderni Prometej je svoj intelektualni kapital uključio u kreiranje Neuralink komponenta za BSI (Brain-Computer Interface). Implant dekodira aktivnosti neurona i prenosi informacije u kodove računara za sve što je u mozgu pohranjeno kao slika, osećaj ili misao. Trenutni rezultat ili krajnji cilj je kontrola računara *snagom misli* i pokretanje potrebnih računarskih aplikacija ili eksterne protetike usled disfunkcije organizma i invaliditeta. [8]

6. ZAKLJUČAK

Biološki *minimum* koji je doživeo krajnju tačku svog razvoja (lat. evolutio), osećajući svoj zaostatak u odnosu na potrebe društva/kulture, tehničko-tehnološkog produkta sopstvenog rada, ispostavlja se kao šuplje mesto za radikalne procedure unosa dodatnog sadržaja. Subverzivnost digitalnog i mehaničkog produžetka/dodatka/drugog nosioca u simbiotskoj vezi ili suživotu, partnerskoj vezi sa telom umetnika, koje se podvrgava voljnim ali i bolnim transformacijama, je vidljiva u gubitku jednog, jedinstvenog središta, biološke strukture u novostvorenom kibernetskom prostoru. Performativne akcije uz škripu i lupanje, metalnih udova, provociraju mondenu estetiku, egzistencijalnu bojazan od invazije robotskih entiteta, etiku u medicini i hirurgiju bez stvarne medicinske uloge, politike moći oličenih u donosiocima odluka koji iz udaljenih stanica sa dozvoljenim pristupom kodiraju otvoreno telo i pokreću ga po sopstvenoj volji.

LITERATURA

[1] M. Šuvaković, Pojmovnik suvremene umjetnosti, Zagreb: Horetzky, 2005.

[2] STELARC, EXCESS AND INDIFFERENCE: Alternate Body Architectures, [Online] Dostupno na: http://stelarc.org/publications.php, Pristupljeno: 20.11.2025.

[3] M. B. N. Hansen, Bodies in Code: Interfaces with Digital Media, New York, London: Routledge, 2006.

[4] S. Stephan, J. Reinisch, „Auricular Reconstruction Using Porous Polyethylene Implant Technique“, Facial Plastic Surgery Clinics of North America, Volume 26, Issue 1, February 2018, pp. 69-85.

[5] STELARC, ZOMBIES & CYBORGS The Cadaver, the Comatose & the Chimera, [Online] Dostupno na: http://stelarc.org/publications.php, Pristupljeno: 20.11.2025.

[6] STELARC: The Monograph [ed. M. Smith], Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2005.

[7] STELARC, Stomach Sculpture, Dostupno na: http://stelarc.org/_activity-20349.php, Pristupljeno: 21.11.2025.

[8] NEURALINK, Dostupno na: https://neuralink.com/, Pristupljeno: 21.11.2025.

PRIMENA GENERATIVNE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U RAZVOJU POČETNIH MATEMATIČKIH POJMOVA KOD DECE PREDŠKOLSKOG UZRASTA

APPLICATION OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DEVELOPMENT OF EARLY MATHEMATICAL CONCEPTS IN PRESCHOOL CHILDREN

Valentina Kostić, Tanja Sekulić i Petra Janković

Sadržaj – Savremeni tehnološki razvoj duboko menja obrazovanje, omogućavajući primenu digitalnih alata i inovativnih metoda koje unapređuju kvalitet obrazovnog procesa. Generativna veštačka inteligencija (GVI) predstavlja jedan od najmoćnijih alata koji transformišu način kreiranja i realizacije obrazovnih sadržaja, jer omogućava brzo generisanje teksta, ideja, primera i zadataka prilagođenih individualnim obrazovnim potrebama. Iako je primena GVI već prisutna u školama i na fakultetima, njen potencijal u predškolskom obrazovanju tek se istražuje. Ovaj rad analizira mogućnosti primene ChatGPT-a u razvoju matematičke pismenosti predškolske dece, kroz teorijski okvir, modelovanje pedagoških scenarija i identifikaciju prednosti i izazova primene. Teorijski okvir se oslanja na UNESCO-ov Okvir kompetencija za veštačku inteligenciju za studente i edukatore, koji naglašava etičku, bezbednu i smisleno vođenu primenu GVI.

Ključne reči: generativna veštačka inteligencija, ChatGPT, predškolsko obrazovanje, početni matematički pojmovi.

Abstract – Contemporary technological developments are profoundly transforming education, enabling the use of digital tools and innovative methods that enhance the quality of the educational process. Generative artificial intelligence (GAI) represents one of the most powerful tools that reshape the creation and implementation of educational content, as it allows the rapid generation of text, ideas, examples, and tasks tailored to individual learning needs. Although the application of GAI is already present in schools and universities, its potential in early childhood education is still being explored. This paper analyzes the possibilities of using ChatGPT in developing mathematical literacy in preschool children, through a theoretical framework, pedagogical scenario modeling, and the identification of advantages and challenges of its use. The theoretical framework is based on UNESCO's Artificial Intelligence Competency Framework for Students and Teachers, which emphasizes the ethical, safe, and meaningfully guided use of GAI.

Keywords*:* Generative artifficial inteligence, ChatGPT, preschool education, early mathematical concepts.

1. UVOD

Razvoj digitalnih tehnologija u protekloj deceniji doneo je duboke promene u obrazovnom sistemu. Među najznačajnijim inovacijama ističe se generativna veštačka inteligencija (GVI), koja omogućava stvaranje novih sadržaja: tekstova, slika, zadataka, pa čak i obrazovnih scenarija, a uz pomoć algoritama koji oponašaju ljudsku kreativnost. Ovi alati, poput ChatGPT-a, postaju sastavni deo savremenog obrazovanja, nudeći mogućnosti za individualizaciju učenja i inovativne pristupe poučavanju [1].

Iako se efekti GVI sve intenzivnije proučavaju u kontekstu formalnog obrazovanja, njen potencijal u radu sa decom predškolskog uzrasta još uvek nije dovoljno ispitan. Istraživači koji se bave ovom problematikom naglašavaju da rana izloženost dece tehnologijama poput veštačke inteligencije može podstaći razvoj digitalne pismenosti i kognitivnih veština, ali uz nužan etički okvir i nadzor odraslih [2].

Cilj ovog rada je da se istraži kako GVI može doprineti razvoju početnih matematičkih pojmova kod dece predškolskog uzrasta, uz poštovanje pedagoških, etičkih i razvojnih principa.

Valentina Kostić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: valentina.kostic@akademijanis.edu.rs).

Tanja Sekulić, Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu, Đorđa Stratimirovića 23, 23000 Zrenjanin (imejl: tsekulicvts@gmail.com).

Petra Janković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: petra.jankovic@akademijanis.edu.rs).

2. TEORIJSKI I METODOLOŠKI OKVIR

Osnova rada počiva na UNESCO-ovom Okviru kompetencija za veštačku inteligenciju za studente i edukatore [3], [4]. koji naglašava važnost etičkog, bezbednog i smislenog korišćenja veštačke inteligencije. U fokusu ovog okvira je očuvanje dečjih prava, razvoj digitalne pismenosti i odgovorno korišćenje tehnologije u obrazovanju. Okvir promoviše pristup koji podrazumeva ne samo tehničku upotrebu alata, već i razumevanje njihove društvene i emocionalne dimenzije. U skladu s tim, GVI se posmatra kao podrška vaspitaču, a ne kao zamena za njega. Postoje istraživanja gde je istaknuta potreba za razvijanjem AI kompetencija vaspitača, jer bez adekvatnog razumevanja tehnologije, njena primena može biti površna i kontraproduktivna [5]. Takođe, GVI može biti snažan alat za razvoj kritičkog mišljenja i pedagoškog dizajna, jer omogućava kreiranje sadržaja koji stimuliše decu da postavljaju pitanja i povezuju apstraktne matematičke pojmove sa konkretnim iskustvima [6] .

Metodološki okvir rada obuhvata analizu relevantne literature, studija slučaja i primera dobre prakse u kojima su alati generativne veštačke inteligencije korišćeni u radu sa decom. Zasnovovan je na kombinaciji: (1) analize relevantne literature o primeni veštačke inteligencije u ranom obrazovanju, i (2) modelovanja pedagoških scenarija koji

ilustruju praktične mogućnosti primene GVI u razvoju matematičke pismenosti. Ova metodologija omogućila je sagledavanje odnosa između teorijskih principa i konkretnih aktivnosti koje vaspitači mogu koristiti u praksi.

Rano uvođenje AI pismenosti mora biti zasnovano na igri, eksperimentisanju i učenju kroz istraživanje, što je u skladu sa principima predškolskog vaspitanja [7]. Rezultati istraživanja ukazuju na tri ključne prednosti primene ChatGPT-a u predškolskom obrazovanju: personalizacija sadržaja, razvoj kreativnosti i motivacije, te podrška vaspitačima.

ChatGPT može da kreira priče, pesme ili zadatke prilagođene uzrastu, interesovanjima i kognitivnim sposobnostima dece. Na primer, vaspitač može da generiše priču o „tri zeca koji traže tri šargarepe“ kako bi deca kroz narativ prepoznavala brojeve i količine. Pokazano je da ovakvi alati mogu značajno unaprediti podučavanje matematike jer nude konkretne, interaktivne i prilagođene zadatke koji prate tempo detetovog razvoja [1]. Ipak, primena GVI nosi izazove: potrebu za digitalnim kompetencijama vaspitača [5], pedagoški nadzor, kao i pitanja etike i bezbednosti [8].

3. GVI U PRAKSI

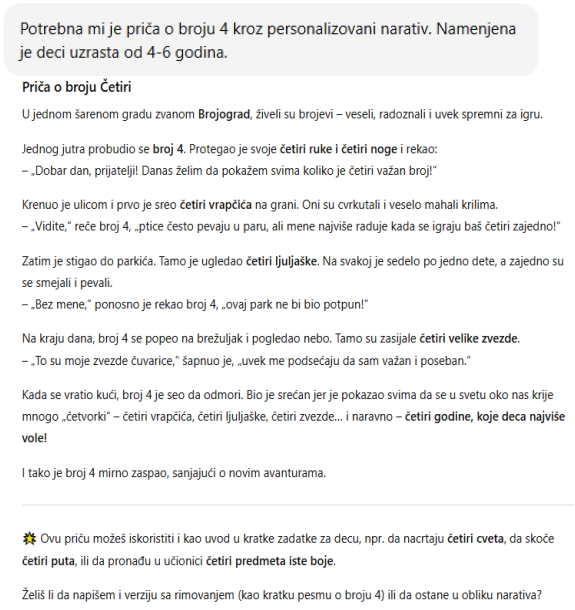
Savremeni GVI alati omogućavaju automatizovano generisanje radnih listova, interaktivnih digitalnih materijala, kao i kreiranje ilustracija prilagođenih različitim temama i uzrastima. Moguće je razviti i kratke edukativne video-zapise, scenarije za projektne aktivnosti, kao i govorne ili zvučne materijale, personalizovane narative, didaktičke igre.

Vaspitač, kao ključni akter u vaspitno-obrazovnom procesu može koristiti GVI kao moćan asistentski alat za efikasnu i brzu personalizaciju materijala, čime se obezbeđuje da je svaki zadatak usklađen sa individualnim potrebama, interesovanjima i razvojnim nivoom deteta. Uz pomoć GVI, vaspitač može u kratkom roku prilagoditi zadatke deci sa različitim stilovima učenja, pripremiti materijale za decu koja zahtevaju dodatnu podršku ili naprednije izazove, kao i osmisliti aktivnosti koje podstiču kreativnost, logičko razmišljanje i istraživački duh.

U ovom radu će biti prikazane mogućnosti primene GhatGPT alata za modelovanje pedagoških scenarija na primerima kreiranja personalizovane priče, vizuelnih zadataka i didaktičke igre.

Prvi scenario: *Kreiranje personalizovane priče*

U ovom primeru GVI je iskorišćena za generisanje personalizovane priče o broju 4 koja je prilagođena uzrastu, interesovanjima i predznanju dece, čime se podstiče razvoj jezičkih veština i početnih matematičkih pojmova kroz igru i simboličko mišljenje. Zahtev postavljen od strane vaspitača i odgovor koji je kreirao ChatGPT prikazani su na Slici 1. Osim priče koju je ponudio, ChatGPT daje predloge kako vaspitač može iskoristiti priču – kao uvod u kratke zadatke pomoću kojih se razvija pojam broja 4.



Slika 1. *Kreiranje personalizovane priče o broju 4*

Drugi scenario: *Kreiranje vizuelnih zadataka za osnovne geometrijske oblike u okviru projekta „Svemirska misija“*

GVI je moćan resurs za generisanje ideja koje se mogu veoma efikasno iskoristiti da se početni matematički pojmovi integrišu u okviru projekta na kome deca rade. U ovom scenariju GVI je korišćena za kreiranje vizuelno jasne i didaktički primerene aktivnosti u kojoj deca uparuju osnovne geometrijske oblike u kontekstu svemirske misije (Slika 2). GVI omogućava vaspitaču da brzo generiše ilustraciju sa izraženim primarnim bojama, jednostavnim formama i jasnim prostornim rasporedom, što je prilagođeno uzrastu dece od 4 do 6 godina.



Slika 2. *Geometrijski oblici u svemirskoj misiji*

Postavljanjem oblika na različite „planete“ i prikazivanjem odgovarajućih „prozora“ na svemirskom brodu, zadatak podstiče prepoznavanje i uparivanje kruga, trougla i kvadrata kroz narativnu i maštovitu situaciju. Na taj način deca uče kroz igru, dok vizuelni elementi olakšavaju fokusiranje, razlikovanje i klasifikovanje oblika.

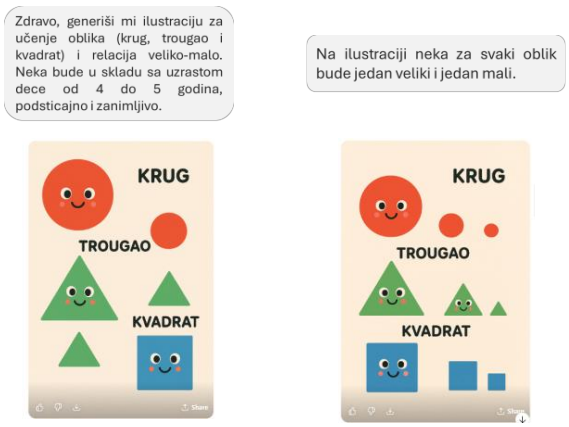
Treći scenario: *Kreiranje vizuelnih zadataka za razvoj osnovnih geometrijskih pojmova i relacija veličina*

GVI takođe može da kreira i vizuelne ilustracije, uz postavljanje dodatnih zahteva i ograničenja. U ovom scenariju postavljen je zahtev za generisanje ilustracije koja sadrži osnovne geometrijske oblike (krug, trougao i kvadrat) i

relaciju veliko–malo. Nakon početne verzije ilustracije, usledila je dodatna instrukcija da svaki oblik bude prikazan u dva oblika – velikom i malom. ChatGPT je zatim generisao novu ilustraciju sa dopunjenim zahtevima (Slika 3). Ovaj proces pokazuje fleksibilnost alata, ali i važnost preciznog formulisanja uputstava.

Naime, iako GVI može efikasno da podrži kreiranje vizuelnih zadataka, u praksi se često dešava da početni rezultat ne odgovara u potpunosti zamisli vaspitača. Zbog toga je neophodno jasno definisati sve elemente koje ilustracija treba da sadrži – broj oblika, njihove veličine, raspored, boje, stil, kao i razvojni cilj koji se želi postići. Precizno formulisane instrukcije značajno povećavaju verovatnoću da će generisani materijal biti pedagoški upotrebljiv i vizuelno adekvatan. Upravo zato veština formulacije zadatka postaje važan deo pedagoške kompetencije pri korišćenju GVI alata.

Ovako kreirane ilustracije mogu se koristiti za različite aktivnosti: prepoznavanje oblika, poređenje veličina, kategorizaciju, uočavanje sličnosti i razlika, kao i za razvijanje vizuelne percepcije i osnovnog geometrijskog rasuđivanja. ChatGPT na taj način postaje podrška u planiranju i realizaciji didaktičkih situacija, nudeći jasno strukturisane i vizuelno privlačne zadatke koji olakšavaju usvajanje početnih matematičkih pojmova.



Slika 3. *Ilustracija za učenje oblika*

Četvrti scenario: *Kreiranje ilustracije i zadatka za razvoj prostorne percepcije i osnovnih geometrijskih pojmova*

U okviru četvrtog scenarija prikazano je kako GVI može doprineti kreiranju aktivnosti za prepoznavanje osnovnih geometrijskih oblika, usvajanje prostornih odnosa i razvoj prostorne percepcije, kombinujući ilustraciju i pitanja koja decu podstiču na posmatranje, opisivanje i zaključivanje o položaju objekata. Slika 4 prikazuje generisanu ilustraciju koja prati zadatak i predstavlja živopisnu scenu sa kućama, drvećem, putem, fontanom i drugim elementima koji su predstavljeni geometrijskim oblicima.

Ovaj scenario demonstrira kako GVI može da kombinuje vizuelni sadržaj i didaktičke zahteve vaspitača, stvarajući materijale koji podstiču dete na posmatranje, uočavanje odnosa u prostoru i povezivanje oblika sa objektima iz svakodnevnog okruženja. Kroz precizno formulisane instrukcije vaspitač može da dobije ilustraciju u kojoj su kvadrat, trougao, pravougaonik i krug smisaono raspoređeni tako da predstavljaju prepoznatljive objekte (krov kuće, prozor, sat, saobraćajni znak i dr.). U ovom zadatku ChatGPT ne samo da generiše ilustraciju, već i predlog pitanja koja vaspitač može koristiti kako bi decu naveo na identifikovanje oblika i razumevanje njihovog položaja u prostoru.



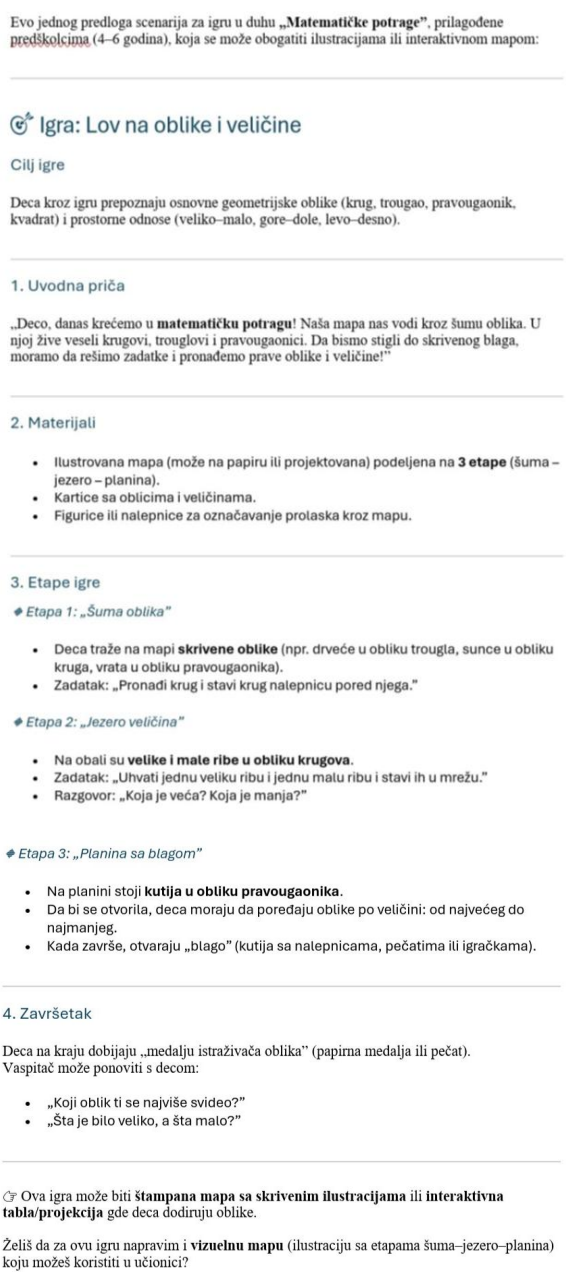
Slika 4. *Zadatak i ilustracija za usvajanje prostorne percepcije*

Korišćenjem ovakvih vizuelnih i interaktivnih zadataka, vaspitači mogu organizovati motivišuće i razvojno prilagođene aktivnosti koje podržavaju usvajanje prostornih odnosa, logičko razmišljanje i osnovne geometrijske pojmove na način blizak i razumljiv deci.

Peti scenario: *Kreiranje didaktičke igre u duhu „Matematičke potrage“*

Peti scenario prikazuje kako GVI može podržati osmišljavanje didaktičkih igara. U ovom primeru ChatGPT pomaže u kreiranju igre u duhu matematičke potrage. Predložena je igra „Lov na oblike i veličine“, koja kombinuje priču, mapu i zadatke raspoređene u više etapa (Slika 5).

Kroz jasno formulisane zahteve, vaspitač može dobiti predlog uvodne priče, strukturu igre, spisak potrebnih materijala i konkretne zadatke za svaku etapu. Ilustrovana mapa, kartice sa oblicima i situacioni zadaci stvaraju bogato okruženje u kojem deca aktivno istražuju, uočavaju skrivene oblike, upoređuju veličine i rešavaju probleme u prostoru.



Evo jednog predloga scenarija za igru u duhu **„Matematičke potrage"**, prilagođene predškolcima (4–6 godina), koja se može obogatiti ilustracijama ili interaktivnom mapom:

Igra: Lov na oblike i veličine

Cilj igre

Deca kroz igru prepoznaju osnovne geometrijske oblike (krug, trougao, pravougaonik, kvadrat) i prostorne odnose (veliko–malo, gore–dole, levo–desno).

1. Uvodna priča

„Deco, danas krećemo u **matematičku potragu**! Naša mapa nas vodi kroz šumu oblika. U njoj žive veseli krugovi, trouglovi i pravougaonici. Da bismo stigli do skrivenog blaga, moramo da rešimo zadatke i pronađemo prave oblike i veličine!"

2. Materijali

- Ilustrovana mapa (može na papiru ili projektovana) podeljena na **3 etape** (šuma – jezero – planina).
- Kartice sa oblicima i veličinama.
- Figurice ili nalepnice za označavanje prolaska kroz mapu.

3. Etape igre

Etapa 1: „Šuma oblika"

- Deca traže na mapi **skrivene oblike** (npr. drveće u obliku trougla, sunce u obliku kruga, vrata u obliku pravougaonika).
- Zadatak: „Pronađi krug i stavi krug nalepnicu pored njega."

Etapa 2: „Jezero veličina"

- Na obali su **velike i male ribe u obliku krugova**.
- Zadatak: „Uhvati jednu veliku ribu i jednu malu ribu i stavi ih u mrežu."
- Razgovor: „Koja je veća? Koja je manja?"

Etapa 3: „Planina sa blagom"

- Na planini stoji **kutija u obliku pravougaonika**.
- Da bi se otvorila, deca moraju da poređaju oblike po veličini: od najvećeg do najmanjeg.
- Kada završe, otvaraju „blago" (kutija sa nalepnicama, pečatima ili igračkama).

4. Završetak

Deca na kraju dobijaju „medalju istraživača oblika" (papirna medalja ili pečat). Vaspitač može ponoviti s decom:

- „Koji oblik ti se najviše svideo?"
- „Šta je bilo veliko, a šta malo?"

☞ Ova igra može biti **štampana mapa sa skrivenim ilustracijama** ili **interaktivna tabla/projekcija** gde deca dodiruju oblike.

Želiš da za ovu igru napravim i **vizuelnu mapu** (ilustraciju sa etapama šuma–jezero–planina) koju možeš koristiti u učionici?

Slika 5. *Didaktička igra „Lov na oblike i veličine"*

Na osnovu prikazanih primera može se zaključiti da GVI vaspitačima pruža dodatni didaktički resurs koji je brz za prilagođavanje, vizuelno podsticajan i usklađen sa razvojnim potrebama dece, čime se unapređuje kvalitet i efikasnost vaspitno-obrazovnog procesa. Za vaspitače, ovako generisan materijal predstavlja funkcionalan resurs koji se može odmah koristiti u aktivnosti ili dodatno prilagoditi potrebama grupe.

4. ZAKLJUČAK

Generativna veštačka inteligencija pruža značajne mogućnosti za unapređenje razvoja početnih matematičkih pojmova kod dece predškolskog uzrasta. Omogućava kreiranje personalizovanih i kreativnih aktivnosti koje povezuju igru i učenje, čineći proces pristupačnijim i motivišućim. Njena najveća prednost ogleda se u fleksibilnosti – vaspitači mogu brzo oblikovati sadržaje prilagođene uzrastu i interesovanjima dece, od vizuelnih zadataka do interaktivnih igara.

Kombinovanjem tradicionalnih pristupa i savremenih digitalnih alata moguće je izgraditi stimulativno i inovativno okruženje koje podstiče radoznalost, kreativnost i kritičko mišljenje. U tom smislu, GVI predstavlja vredan resurs koji, uz odgovornu i promišljenu primenu, može doprineti modernizaciji i kvalitetu predškolskog obrazovanja.

GVI može značajno doprineti planiranju i evaluaciji rada vaspitača, oslobađajući vreme za neposrednu interakciju sa decom. Ipak, izazovi su brojni: potrebne su dodatne digitalne kompetencije vaspitača, sadržaj mora biti pedagoški usmeren i etički prihvatljiv, a važno je izbegavati prekomerno oslanjanje na tehnologiju koje može umanjiti ulogu interakcije između vaspitača i dece.

Generativna veštačka inteligencija ima ogroman potencijal u predškolskom obrazovanju, posebno u razvoju početnih matematičkih pojmova. Ključ uspeha leži u etičkoj, bezbednoj i pedagoški promišljenoj primeni, uz stalnu obuku i podršku vaspitačima. GVI može značajno doprineti modernizaciji predškolskog obrazovanja, ali samo kao alat koji nadograđuje, a ne zamenjuje ulogu vaspitača.

LITERATURA

[1] Y. Wardat, M. A. Tashtoush, R. AlAli, and A. M. Jarrah. "ChatGPT: A revolutionary tool for teaching and learning mathematics." Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, vol. 19, no7, em2286, 2023. https://doi.org/10.29333/ejmste/13272

[2] R. Durrani, A. Iqbal, and H. Akram. "Artificial intelligence (AI) in early childhood education, exploring challenges, opportunities and future directions: A scoping review." Qlantic Journal of Social Sciences, vol 5, no. 2, pp. 411-423, 2023.

[3] AI competency framework for students. (2024). In *UNESCO eBooks*. https://doi.org/10.54675/jkjb9835

[4] AI competency framework for teachers. (2024). In *UNESCO eBooks*. https://doi.org/10.54675/zjte2084

[5] E. B. Kölemen, and B. Yıldırım. "A new era in early childhood education (ECE): Teachers' opinions on the application of artificial intelligence." Education and Information Technologies, vol 30, 17405–17446, 2025.

[6] F. Batole, and T. Tokura, T. Critical Thinking and Pedagogics Design in Early Childhood Education: The Role of ChatGPT and Generative AI, [Online]

https://doi.org/10.13140/rg.2.2.26981.31204

[7] J. Su, D. T. K. Ng, and S. K. W. Chu. "Artificial intelligence (AI) literacy in early childhood education: The challenges and opportunities." Computers and Education: Artificial Intelligence, vol 4, Article 100124, 2023.

[8] L. Zhang. "Discussion on the potential of ChatGPT in the field of early childhood education." In. Proceedings of the 2024 3rd international conference on humanities, wisdom education and service management (HWESM 2024), Atlantis Press, 2024, vol. 849, pp. 373-379.

PRAVO I VEŠTAČKA INTELIGENCIJA U EU I PRAVNI OKVIR ZA VEŠTAČKU INTELIGENCIJU U REPUBLICI SRBIJI

LAW AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EUROPEAN UNION AND THE LEGAL FRAMEWORK FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Andrej Mitić

Sadržaj - Razvoj veštačke inteligencije (VI) predstavlja jedan od najznačajnijih aktuelnih teorijskih i praktičnih izazova za savremenu pravnu nauku. Tehnologije VI koje sve više utiču na proces odlučivanja u važnim sektorima života kao što su ekonomija, zdravstvo, javne politike, pravosuđe i obrazovanje između ostalih, istovremeno otvaraju i pitanja odgovornosti, transparentnosti, zaštite osnovnih prava i prevencije diskriminacije. Namera nam je da u ovom radu prepoznamo i markiramo nesrazmeru između brzine tehnološkog napretka na polju veštačke inteligencije i kapaciteta pravnih sistema da na vreme izgrade adekvatan prateći normativni okvir. Evropska unija je poslednjih godina načinila značajan korak u tom smeru, kroz usvajanje Akta o veštačkoj inteligenciji, koji predstavlja prvi sveobuhvatni regulatorni model u ovoj oblasti na globalnom nivou.Republika Srbija, kao država kandidat za članstvo u EU, usvojila je Strategiju razvoja veštačke inteligencije za period 2025–2030. godine, ali još uvek nije razvila konkretan nacionalni zakon o VI. Dok je EU uspostavila model koji koristi pristup zasnovan na proceni rizika i postavila obaveze u pogledu transparentnosti, kontrole i odgovornosti, Srbija se još uvek nalazi u fazi strateškog planiranja i postepenog uvođenja etičkih standarda.Republici Srbiji neophodno je kreiranje evolutivnog i sveobuhvatnog pravnog okvira koji će, s jedne strane, omogućiti usaglašavanje sa pravnim okvirom EU na polju VI, a sa druge strane uzeti u obzir nacionalne specifičnosti i institucionalne kapacitete.

Ključne reči: veštačka inteligencija, EU Akt o veštačkoj inteligenciji, Strategija razvoja veštačke inteligencije, rizik

Abstract - The development of artificial intelligence (AI) represents one of the most significant contemporary theoretical and practical challenges for modern legal scholarship. AI technologies, which increasingly influence decision-making processes in key sectors of life—such as the economy, healthcare, public policy, the judiciary, and education, among others—simultaneously raise issues of responsibility, transparency, the protection of fundamental rights, and the prevention of discrimination.The aim of this paper is to identify and highlight the disproportion between the rapid pace of technological advancement in the field of artificial intelligence and the capacity of legal systems to develop an adequate accompanying regulatory framework in a timely manner. In recent years, the European Union has taken an important step in this direction through the adoption of the Artificial Intelligence Act, which represents the first comprehensive regulatory model in this field at the global level.The Republic of Serbia, as a candidate country for EU membership, has adopted the Artificial Intelligence Development Strategy for the period 2025–2030, but has not yet developed a specific national AI law. While the EU has established a model grounded in a risk-based approach and has imposed obligations concerning transparency, oversight, and accountability, Serbia remains in a phase of strategic planning and the gradual introduction of ethical standards.It is essential for the Republic of Serbia to develop an evolutionary and comprehensive legal framework that will, on the one hand, enable alignment with the EU's AI regulatory architecture and, on the other hand, take into account national specificities and institutional capacities.

Keywords: artificial intelligence, EU Artificial Intelligence Act, Artificial Intelligence Development Strategy, risk

1. UVOD

Razvoj veštačke inteligencije tokom poslednje decenije oblikovao je jednu potpuno novu dimenziju društvenih odnosa, u kojoj se granice između tehnološkog i pravnog prostora neprestano preispituju. Tehnologije VI, sve naprednije, neprozirnije i autonomnije, sve češće postaju deo procesa odlučivanja od strateškog značaja za poj edinca i društvo.

Takva transformacija posebno je vidljiva u sektorima ekonomije, finansija, zdravstva, javnih politika, pravosuđa i obrazovanja, ali i mnogim drugim sektorima života. U ovim sferama VI obećava efikasnost, brzinu i bolje prognostički potencijal, ali istovremeno proizvodi nove pravne i etičke rizike koji dovode u pitanje tradicionalne modele odgovornosti, strukturu osnovnih prava i mehanizme zaštite od diskriminacije.

Otuda je i pravna nauka, u aktuelnom globalnom civilizacijskom trenutku suočena sa novim fenomenom čija priroda izmiče klasičnim normativnim konceptima. Najveći izazov postaje tempo tehnološkog razvoja: on je toliko ubrzan da pravni sistemi, koji se naslanjaju na postepeno, oprezno i demokratski uravnoteženo usvajanje propisa, teško prate dinamiku promena. Upravo taj jaz između tehnološkog napretka i normativne reakcije predstavlja ključni izazov za pravne poretke širom sveta.

Evropska unija je do sada jedina političko-pravna zajednica koja je kreirala sveobuhvatan, obavezujući i sistemski zasnovan okvir za regulisanje VI — Akt o veštačkoj inteligenciji (EU AI Act), usvojen 2024. godine [1]. On

Andrej Mitić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: andrej.mitic@akademijanis.edu.rs

predstavlja prvi globalni pokušaj da se tehnologija koja deluje u realnom vremenu i obrađuje ogromne količine podataka smesti u pravne okvire koji istovremeno štite inovacije i osnovna prava građana. Evropski model postaje paradigmatični model za brojne države, ne samo u Evropi, već i širom sveta.

Republika Srbija, kao država kandidat za članstvo u EU, usvojila je Strategiju razvoja veštačke inteligencije za period 2025–2030 [2]. Strategija je značajan korak napred, jer postavlja viziju, ciljeve i sektorske prioritete. Ipak, Srbija još uvek nema nacionalni zakon o veštačkoj inteligenciji, a koji bi trebalo da prati po obimu i pravnoj snazi akt EU. Upravo u tom normativnom prostoru javlja se najupadljivija razlika između dva modela: EU ima kompleksnu zakonsku regulativu, dok Srbija trenutno raspolaže pre svega strateškim, programskim dokumentom.

2. VEŠTAČKA INTELIGENCIJA KAO IZAZOV PRAVNOJ TEORIJI

U većini novijih naučnih radova, pravnici koji se bave tehnologijom naglašavaju da je veštačka inteligencija radikalno promenljiv fenomen koji traži interdisciplinarni i dinamički pristup. Dok je ranija regulativa koja je pravno uobličavala tehnološke procese mogla da računa na relativnu stabilnost tehnologije koju uređuje, sistemi VI su suštinski drugačije prirode - oni uče, menjaju se, adaptiraju (se) i uvode nove nivoe autonomije. Posledica toga je da neki od centralnih pravnih koncepata — odgovornost, transparentnost, dokazivost — trpe duboke promene.

Autori recentnog zbornika *The Cambridge Handbook of Law, Ethics and Policy of Artificial Intelligence* ističu da izazov VI nije samo tehnički, već i epistemološki: VI sistemi funkcionišu u logikama koje nisu uvek dostupne ljudskom razumevanju [3]. Takozvana „crna kutija" algoritama proizvodi situaciju u kojoj se odluke donose na osnovu matematičkih modela čija unutrašnja struktura nije transparentna. Ovo može dovesti do povrede prava na obrazloženje, prava na jednak tretman ili prava na privatnost, a takvi rizici su već prepoznati u brojnim sudskim postupcima širom sveta.

Sa druge strane, pravna nauka ističe da VI može ojačati pravnu državu kao takvu, povećati efikasnost javnih službi i doneti bolje upravljanje, ali samo ako je praćena adekvatnim regulatornim okvirom. Odsustvo takvog okvira, upozoravaju pravni teoretičari, dovodi do situacije u kojoj privatni akteri — korporacije, finansijske institucije i platforme — faktički oblikuju pravila igre.

Upravo zbog toga Akt EU i nacionalne strategije poput srpske, predstavljaju najznačajnije pokušaje da se na globalnom nivou uvede institucionalna ravnoteža između inovacija i prava.

3. EVROPSKA UNIJA: AKT O VEŠTAČKOJ INTELIGENCIJI KAO NORMATIVNI PRESEDAN

Akt EU o VI [1], usvojen nakon više godina intenzivnih pregovora, naučne debate i javne rasprave opredeljuje se da uvede novi regulatorni pristup zasnovan na proceni rizika. Ovaj pristup je model koji je u međunarodnoj literaturi već prepoznat kao najadekvatniji, jer nudi balans između tehnološkog razvoja i pravne sigurnosti [3].

U osnovi modela nalazi se klasifikacija VI sistema prema stepenu rizika koji nose: sistemi neprihvatljivog rizika, sistemi visokog rizika, sistemi ograničenog rizika i sistemi minimalnog rizika.

Kategorija „neprihvatljivog rizika" obuhvata sve sisteme koji bi mogli narušiti dostojanstvo i osnovna prava, poput masovnog biometrijskog nadzora u realnom vremenu ili manipulativnih sistema za podsticanje ponašanja dece. Ovi sistemi su zabranjeni u EU kao mera prevencije zloupotreba, što ukazuje na jasno regulatorno opredeljenje Unije.

Sistemi „visokog rizika" obuhvataju oblasti kao što su zdravstvo, pravosuđe, zapošljavanje, biometrijska identifikacija, javna infrastruktura i kreditno ocenjivanje. Za ove sisteme propisane su stroge obaveze: tehnička dokumentacija, kvalitet podataka, transparentnost, nadzor čoveka, procene uticaja na osnovna prava i registrovani sistemi upravljanja rizicima. Upravo ova oblast izaziva najviše rasprava, jer uključuje zone gde VI direktno utiče na ljudske sudbine.

Sistemi „ograničenog rizika" moraju ispunjavati određene obaveze transparentnosti, dok sistemi „minimalnog rizika" ostaju praktično neregulisani.

Ono što je posebno značajno jeste to da Akt EU ne reguliše samo obaveze proizvođača VI, već i obaveze korisnika — posebno javnih institucija. Tako se uspostavlja potpuna lanac odgovornosti, gde nijedan akter u procesu primene VI nije izuzet od pravila.

Ovim pristupom EU zapravo gradi strukturu tehnološke vladavine prava: tehnologija, kao takva, ne sme odlučivati van okvira u kojima je definisano ko je odgovoran, na osnovu čega i pod kojim uslovima.

4. REPUBLIKA SRBIJA: STRATEGIJA 2025–2030 KAO PRAVNI I POLITIČKI OKVIR

Strategija razvoja veštačke inteligencije Republike Srbije za period 2025–2030 postulira više značajnih ciljeva, imajući, između ostalog intenciju da obezbedi jasan i efikasan institucionalni okvir kroz donošenje posebnog zakona koji će regulisati primenu veštačke inteligencije, zatim, da unapredi osnovno, srednje, i visoko obrazovanje u oblasti VI, da obezbedi podršku naučnoistraživačkim organizacijama i inovativnim subjektima i podstakne razvoj nauke, inovacija i novih tehnoloških rešenja baziranih na VI, zatim usmeri i stimuliše primenu rešenja VI u javnom i privatnom sektoru, sa posebnim fokusom na medicinu, biotehnologiju, obrazovanje, poljoprivredu, informacionu bezbednost i druge oblasti, tragajući za prilikom da se Republika Srbija tako pozicionira kao regionalni lider u primeni VI [2]. Ono što Strategija donosi jeste vizija, ali ne još uvek i obavezujući normativni okvir. Postoji prostor, između ostalog, za razvoj mehanizama za procenu rizika, obaveze transparentnosti, modela državnog nadzora, jasnih pravila odgovornosti, strukture zaštite

podataka u javnim registrima, proceduralne standardi za primenu VI u visokorizičnim sektorima, itd.

Strategija ukazuje na neophodnost harmonizacije sa EU i međunarodnim pravilima, ali tu obavezu ostavlja kao buduću fazu razvoja. Strategija, za razliku od EU, za sada ne uvodi razlikovanje VI sistema po stepenu rizika. Ovo znači da sistem koji bi u EU bio zabranjen, uslovljen ili strogo nadgledan, u Srbiji još uvek nije obuhvaćen konkretnim propisima. Pravni okvir u kome se Strategija pojavljuje podrazumeva trenutno zakone koji uređuju oblasti povezane sa njom: Zakon o zaštiti podataka ličnosti, Zakon o dualnom obrazovanju, Zakon o visokom obrazovanju, Zakon o dualnom modelu studija u visokom obrazovanju, Zakon o nauci i istraživanjima. Zakon o inovacionoj delatnosti, Zakon o Fondu za nauku, Zakon o informacionoj bezbednosti, Set poreskih zakona, Zakon o alternativnim investicionim fondovima, Zakoni iz oblasti zaštite intelektualne svojine, Zakon o zabrani diskriminacije, Zakon o nacionalnom okviru kvalifikacija, ali podrazumeva i usaglašenost sa drugim planskim dokumentima, što svedoči o vrlo kompleksnom pravnom okviru u koji se pokušava da smesti regulisanje jedne tako nove oblasti kao što je VI [2].

Izvesno je, međutim, da će se u narednom periodu pojaviti potreba i za nacionalnim zakonom o VI, što se već najavljuje u stručnim krugovima, uključujući i publikaciju Veštačka inteligencija u pravnom sistemu EU Instituta za uporedno pravo. Upravo u ovom delu autori naglašavaju da je regulacija VI neodložna, s obzirom da sve veći broj institucija koje već primenjuju algoritme za donošenje odluka [4].

5. KOMPARATIVNA ANALIZA: EU AI ACT I STRATEGIJA SRBIJE 2025–2030

Upoređivanje ova dva dokumenta pokazuje jasnu normativnu neravnotežu. EU Akt je zakonski, obavezujući propis koji se direktno primenjuje u državamačlanicama. Strategija Srbije je politički dokument koji definiše ciljeve, ali nije pravno obavezujući. Ukoliko je reč o pristupu regulisanju, EU primenjuje pristup zasnovan na stepenovanju rizika, koji je detaljan, operacionalizovan i podložan kontrolama. Strategija Republike Srbije, sa druge strane, ne koristi klasifikaciju rizika i nema još uvek zakonsku arhitekturu koja bi podržala takvu metodologiju.Kada se govori o zaštiti osnovnih prava, EU propisuje obavezne procene uticaja na osnovnaprava, počev od sistema visokog rizika, dok Srbija predviđa etičke okvire, ali ne propisuje obavezu procene uticaja.

Na planu odgovornosti, EU Akt jasno definiše odgovornost: proizvođači, distributeri, uvoznici i korisnici imaju različite pravne obaveze [1]. U Srbiji ova matrica ne postoji; subjekti koji razvijaju ili primenjuju VI nisu podložni specifičnim pravilima, bar za sada.Tema institucionalnog nadzora je vrlo osetljiva i zahteva brižljiv pristup.EU uvodi jasne institucije: Evropski savet za VI, nacionalna nadzorna tela, mehanizme za sertifikaciju iregistraciju.Srbija u Strategiji ne definiše nadzorna tela posvećena VI.

Na kraju, ako uporedimo predviđenu implementaciju, očigledno je da EU kroz svoj ključni document određuje konkretne rokove, tehničke standarde i mehanizme kontrole kvaliteta, dokSrbija ima viziju, ali implementacija ostaje zavisna od budućih zakona.

6. ZAKLJUČAK: NORMATIVNA NERAVNOTEŽA I IZAZOVI BUDUĆNOSTI

Razvoj veštačke inteligencije postavlja pred pravne sisteme očigledno izazov koji je i teorijski i praktični. EU je do sada napravila najveći iskorak u izgradnji sveobuhvatnog okvira za VI, uvodeći novi pravni model koji stavlja akcenat na rizik, transparentnost, ljudski nadzor i odgovornost — principe koji su od suštinskog značaja za očuvanje pravne države u digitalnoj eri.

Srbija je, s druge strane, na početku normativnog puta: Strategija 2025–2030 uspostavlja viziju razvoja, ali ne rešava pravna pitanja koja se tiču transparentnosti, nadzora i odgovornosti. Kako se tehnološki razvoj ubrzava, biće neophodno usvojiti sveobuhvatan zakon o VI.

Najveći izazov biće pronalaženje ravnoteže između inovacija i zaštite građana. VI može transformisati društvo, ali samo ako se razvija u okviru pravnih normi koje osiguravaju transparentnost, jednakost i odgovornost. I upravo tu leži suštinski zadatak i za EU i za Srbiju: da se u tehnološkoj budućnosti ne izgube osnovni pravnii etički principi koji čine temelj demokratskog poretka.

LITERATURA

[1] European Commission, *Artificial Intelligence Act* 2024, Official Journal Version of June 2024

[2] Vlada Republike Srbije, *Strategija razvoja veštačke inteligencije 2025-2030,* Beograd, 2025

[3] Nathalie A.Smuha, *Cambridge Handbook of Law, Ethics and Policy of Artificial Intelligence*, Cambridge University Press, 2025

[4] Dragan Prlja, Gordana Gasmi, Vanja Korać, *Veštačka inteligencija u pravnom sistemu,* Institut za uporedno pravo: *Veštačka inteligencija u pravnom sistemu EU*, Beograd, 2021

PRAVA ZAPOSLENIH U VISOKOM OBRAZOVANJU PRILIKOM ODLASKA NA VANTELESNU OPLODNJU

RIGHTS OF HIGHER EDUCATION EMPLOYEES WHEN UNDERGOING IN VITRO FERTILISATION

Aleksandar Petković

Sadržaj – U ovom radu se analizira položaj zaposlenih u visokom obrazovanju tokom procesa vantelesne oplodnje (VTO) i procenjuje da li postojeći pravni okvir u Republici Srbiji pruža dovoljnu podršku. Kroz pregled relevantnih zakona i kolektivnih ugovora ukazuje se na nedostatak jasno definisanog plaćenog odsustva, fleksibilnog rada i institucionalne pomoći. Upoređivanjem sa praksom Malte i Portugala, koji obezbeđuju plaćeno odsustvo i psihološku podršku, predlaže se uvođenje sličnih rešenja u visoko obrazovanje u Srbiji kako bi se zaposlenima obezbedili sigurniji uslovi i smanjila mogućnost diskriminacije.

Ključne reči: vantelesna oplodnja, plaćeno odsustvo, visoko obrazovanje, podrška zaposlenima.

Abstract – This paper analyzes the position of employees in higher education during the process of in vitro fertilization (IVF) and assesses whether the existing legal framework in the Republic of Serbia provides adequate support. Through a review of relevant laws and collective agreements, it highlights the lack of clearly defined paid leave, flexible work arrangements, and institutional support. By comparing with the practices of Malta and Portugal, which provide paid leave and psychological support, it is proposed to introduce similar measures in higher education in Serbia to ensure safer conditions for employees and reduce the possibility of discrimination.

Keywords: in vitro fertilization, paid leave, higher education, employee support.

1.UVOD

Pružanje podrške zaposlenima prilikom odlaska na vantelesnu oplodnju – VTO, sve više se u uslovima savremenog života nameće kao imperativ koji oslikava odnos poslodavca prema zaposlenom. Rad u visokom obrazovanju zahteva visok nivo angažovanosti kako u nastavi, tako i u naučnom radu i administraciji, a proces vantelesne oplodnje je delikatan i nesiguran, te na mnogo načina utiče na emocionalno i mentalno zdravlje zaposlenih. Vrlo je bitno da kod rukovodilaca postoji razumevanje, empatija i otvorena komunikacija o ovim temama, što u praksi često nije slučaj. Suočeni sa procesom vantelesne oplodnje, koji je ličan i invazivan i koji zahteva medicinske tretmane, zaposleni često razviju anksioznost koja dodatno utiče na njihove rezultate na poslu. Odsustvo sa posla neretko izaziva i zabrinutost zaposlenih oko produktivnosti na radu posle neuspelih pokušaja. Takođe, prisutni su nepotpuna informisanost zaposlenih o svojim pravima, kao i pritisak od strane rukovodilaca zbog čestih ili neplaniranih odsustava, ali i nedostatak posebnih pravila unutar samih ustanova ili na nivou posebnih kolektivnih ugovora za visokoškolske ustanove, koja bi eksplicitno regulisala VTO odsustva.

Ovaj rad se bavi analizom pravnih akata u našoj zemlji i to Zakona o radu, Zakona o zdravstvenom osiguranju, Zakona o zabrani diskriminacije, ali i analizom pravilnika i internih akata visokoškolskih ustanova, kao i posebnih kolektivnih ugovora. Takođe, komparativnom analizom i uporednim prikazom prakse država na svetskom nivou, rad nastoji da prepozna šta se od toga može implementirati i kod nas, odnosno koje bi od njihovih posebnih politika za zaštitu prava zaposlenih – prevasohodno žena tokom procesa VTO bile najbolje primenjive u našim poslovnim okruženjima, sa posebnim osvrtom na radno okruženje i regulativu u visokom obrazovanju. U radu se ispituju pravne opcije za odsustvo sa rada za vreme pokušaja vantelesne oplodnje, i to ono što je normativno-pravno već predviđeno kao pravo na bolovanje (u okviru privremene sprečenosti za rad), pravo na opravdano

odsustvo sa rada u vidu korišćenja godišnjeg odmora, korišćenje slobodnih dana ili dogovorenog neplaćenog odsustva ukoliko drugačije nije moguće, ali i ono što bi tek trebalo da se reguliše.

Posebna pažnja je na Posebnom kolektivnom ugovoru koji je 2025. godine stupio na snagu za zaposlene u osnovnim i srednjim školama kao i u domovima učenika. U radu se analiziraju novine koje se odnose na plaćeno odsustvo i to u trajanju od 3 radna dana prilikom odlaska na VTO, kao i isplatu solidarne pomoći zaposlenima koji prolaze kroz ovaj proces. Ovo je put i način za zaštitu interesa zaposlenih i u visokom obrazovanju, te bi ove odredbe mogle da se predvide i u okviru budućih izmena i dopuna Posebnog kolektivnog ugovora za zaposlene u visokom obrazovanju. Takođe, treba napomenuti da po važećem Zakonu o radu naknada zarade pri korišćenju regularnog bolovanja iznosi 65% od prosečne zarade u prethodnih 12 meseci pre meseca u kojem je nastupila privremena sprečenost za rad, što može biti demotivišući faktor prilikom odlučivanja zaposlenog da se upusti u ovaj zahtevan proces. Isplatom 100% od zarade bi se stvorili uslovi da parovi rasterećenije prođu kroz ovakav zahtevan proces.

Stvaranje podsticajnijih uslova za upuštanje zaposlenih u proces VTO jeste i obezbeđivanje fleksibilnog rad (rada od kuće ili skraćenog radnog vremena tokom trajanja postupka)

Aleksandar Petković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: aleksandar.petkovic@akademijanis.edu.rs).

kao i kreiranje kulture podrške na radnom mestu. Još jedan od načina da se zaposleni zaštiti jeste nedvosmislena primena zabrane otkaza i zabrane diskriminacije po osnovu ostvarivanja roditeljstva putem medicinski potpomognute oplodnje. Potrebno je organizovati seminare i radionice za rukovodeću i pravnu službu visokoškolskih ustanova, kao i informativne kampanje o značaju podrške zaposlenima tokom procesa VTO. Potrebno je obezbediti i psihološku podršku zaposlenom te učiniti dostupnim savetovališta na ovu temu, a u cilju obezbeđivanja inkluzivnosti i sigurnosti na radnom mestu kako bi se borba za potomstvo makar malo učinila lakšom. Konačno, zaposlenima bi trebalo obezbediti pravo da ne otkrivaju detalje o svojoj reproduktivnoj situaciji osim kada je to neophodno za ostvarivanje prava, i u tim slučajevima bi mogli da računaju na diskretno rukovanje medicinskim informacijama od strane rukovodilaca i pravne službe.

Nesporno je da zakonski okvir u Republici Srbiji formalno štiti zaposlene koji prolaze kroz VTO ali postoji prostor za unapređenje, posebno u sferi visokog obrazovanja. Sveobuhvatnija zaštita zaposlenih tokom vantelesne oplodnje je neophodna kako bi se osigurala prava na reproduktivno zdravlje ali i očuvala prava iz radnih odnosa. Ključ je u jasno definisanim zakonskim okvirima, edukaciji rukovodilaca i pravne službe u visokoškolskim ustanovama, ali i u transparentnim i dostupnim informacijama za zaposlene o njihovim pravima, kako u nastavi tako i u nenastavi. Sve više zemalja uvodi plaćene slobodne dane i to posebno za VTO tretmane, pa je i u našoj zemlji potrebno uvesti posebno pravo na plaćeno odsustvo sa rada za zaposlene u visokom obrazovanju (npr. 3 do 5 dana po pokušaju), kao i dodelu solidarne pomoći. Ovo je već prepoznato kao potreba u osnovnim i srednjim školama kao i u domovima učenika, gde je to pitanje regulisano Posebnim kolektivnim ugovorom koji je stupio na snagu februara 2025. godine. Mnogo je razloga da se isto primeni i u visokom obrazovanju, te da se u budućim izmenama predvide prethodno pomenuta rešenja.

2. METODOLOGIJA RADA

Metodološki okvir ovog rada zasniva se na kombinovanju normativne, komparativne i analitičko-sintetičke metode, sa ciljem sveobuhvatnog razumevanja položaja zaposlenih u visokom obrazovanju tokom postupka vantelesne oplodnje. U prvoj fazi sprovedena je analiza relevantnih pravnih akata Republike Srbije, uključujući Zakon o radu, Zakon o zdravstvenom osiguranju, Zakon o zabrani diskriminacije kao i kolektivne ugovore i interne akte visokoškolskih ustanova. Ovaj pristup omogućio je identifikovanje normativnih praznina i praktičnih ograničenja u ostvarivanju prava na odsustvo i drugih vidova podrške tokom VTO procesa.

Druga faza obuhvatila je komparativnu analizu međunarodne prakse, sa posebnim fokusom na Maltu i Portugal, dve zemlje koje su razvile konkretne i institucionalizovane modele podrške zaposlenima u postupcima medicinski potpomognute oplodnje. Uporedni pristup omogućio je prepoznavanje rešenja koja mogu biti primenljiva u domaćem pravnom sistemu, posebno u pogledu plaćenog odsustva, fleksibilnih radnih aranžmana i psihološke podrške zaposlenima.

Treća faza metodologije odnosila se na analitičko razmatranje mogućnosti unapređenja domaćeg normativnog okvira. Sintezom nalaza iz pravne i komparativne analize formulisani su predlozi koji mogu doprineti uvođenju jasnijih procedura i institucionalnih mehanizama podrške u visokom obrazovanju. Podaci su prikupljani analizom literature, pravnih izvora i dostupnih dokumenata kojima se reguliše VTO u evropskim obrazovnim sistemima.

3. PRAVNI OKVIR U REPUBLICI SRBIJI

Pravni okvir koji reguliše prava zaposlenih tokom procesa vantelesne oplodnje (VTO) u Republici Srbiji sastoji se od više zakonskih akata i podzakonskih propisa, ali uprkos formalno postojećim garancijama, praksa često ukazuje na nedovoljnu primenu, nedostatak jasnih smernica i nedovoljno razvijenu institucionalnu podršku, posebno u sektoru visokog obrazovanja. Zaposleni u univerzitetskom okruženju suočavaju se sa specifičnim izazovima – obimnim nastavnim obavezama, istraživačkim rokovima i administrativnim opterećenjem – što zahteva preciznu i jasnu regulativu koja će prepoznati potrebe onih koji prolaze kroz proces medicinski potpomognute oplodnje. Analiza relevantnih propisa pokazuje da, iako postoje elementi zaštite, nedostaju posebni mehanizmi koji bi ovaj proces učinili manje opterećujućim i pravno sigurnijim.

3.1. Zakon o radu

Važeći Zakon o radu predviđa pravo zaposlenog na bolovanje u slučaju *privremene sprečenosti za rad*, uključujući i situacije koje proističu iz procesa VTO. Prema zakonu, naknada zarade tokom bolovanja iznosi 65% prosečne zarade zaposlenog u poslednjih 12 meseci, osim u specifičnim slučajevima gde poslodavac može drugačije urediti kroz interne akte ili kolektivne ugovore. Međutim, ovakvo rešenje često deluje demotivišuće za zaposlene. Proces VTO podrazumeva česte kontrole, brojne medicinske intervencije, hormonske terapije i čitav niz fizičkih i emocionalnih izazova. U praksi to znači da zaposleni, najčešće žene, moraju više puta u toku meseca izostati sa posla, što može dovesti do značajnog finansijskog gubitka ukoliko se odsustvo vodi kao bolovanje sa umanjenom zaradom.

Dodatni problem predstavlja izostanak posebne odredbe u Zakonu o radu koja eksplicitno uređuje pravo na odsustvo tokom VTO, što dovodi do neujednačene prakse među poslodavcima. U visokom obrazovanju, gde je organizacija nastave i projekata često strukturisana unapred na semestar ili godinu dana, odsustvo zaposlenog neretko se doživljava kao organizacioni problem. Nedostatak jasnih pravnih smernica dovodi do toga da se odsustva rešavaju individualno, kroz dogovore sa rukovodiocem, što otvara prostor za nejednak tretman zaposlenih i potencijalne nesporazume.

3.2. Zakon o zdravstvenom osiguranju i zakon o zabrani diskriminacije

Zakon o zdravstvenom osiguranju prepoznaje medicinski potpomognutu oplodnju kao vid lečenja neplodnosti, obezbeđujući osiguranicima pravo na određeni broj postupaka o trošku države, u skladu sa medicinskim indikacijama. Ovaj zakon pruža osnov zdravstvene zaštite, ali ne reguliše

specifično radnopravni status zaposlenih koji prolaze kroz VTO, pa tako ne propisuje pravo na plaćeno odsustvo, niti dodatne pogodnosti koje bi olakšale usklađivanje radnih obaveza i terapijskih procedura.

Zakon o zabrani diskriminacije eksplicitno zabranjuje bilo koji vid diskriminacije na osnovu zdravstvenog stanja, pola, reproduktivnog statusa ili planiranja porodice. To znači da poslodavci ne smeju da uskraćuju prava, menjaju radne uslove ili negativno tretiraju zaposlene zbog toga što prolaze kroz proces VTO. Međutim, uprkos jasnim zakonskim odredbama, mnogi zaposleni nisu adekvatno informisani o svojim pravima, a rukovodioci u visokom obrazovanju često nisu dovoljno upoznati sa pravnim obavezama koje proizlaze iz ovih zakona. Nedostatak edukacije i formalnih procedura dovodi do toga da se diskriminacija često manifestuje u prikrivenim oblicima – suptilnim komentarima, preopterećivanjem obavezama ili uskraćivanjem fleksibilnosti.

3.3. Posebni kolektivni ugovori

Posebno relevantan dokument je Posebni kolektivni ugovor za zaposlene u osnovnim i srednjim školama, kao i u domovima učenika, koji je stupio na snagu u februaru 2025. godine. Ovaj ugovor uvodi pravo na tri radna dana plaćenog odsustva prilikom odlaska na VTO, kao i mogućnost ostvarivanja solidarne pomoći zaposlenima koji prolaze kroz ovaj proces. Ovo predstavlja značajan iskorak u unapređenju prava zaposlenih u obrazovnom sistemu, jer prvi put jasno prepoznaje specifičnost VTO kao proces koji zahteva poseban režim podrške.

Međutim, ovakvo rešenje još uvek ne postoji u kolektivnom ugovoru za zaposlene u visokom obrazovanju, uprkos tome što univerzitetski rad zahteva jednako visok nivo profesionalne angažovanosti i fleksibilnosti. Razlika u pravnoj zaštiti između ova dva nivoa obrazovanja stvara pravnu prazninu i neravnopravan tretman zaposlenih u istom javnom sistemu. Uvođenje sličnih odredbi u kolektivni ugovor za visoko obrazovanje predstavljalo bi važan korak ka obezbeđivanju jednake i adekvatne podrške zaposlenima koji prolaze kroz proces VTO.

4. MEĐUNARODNA PRAKSA

Uporedna analiza evropskih politika pokazuje da brojne države aktivno unapređuju regulatorni okvir kako bi olakšale usklađivanje radnih obaveza i procesa vantelesne oplodnje (VTO). U okviru Evropske unije posebno se ističe Malta, koja je među prvim zemljama u regionu formalno prepoznala potrebu da zaposleni imaju pravo na odsustvo radi medicinski indikovanih tretmana steriliteta. Malteška regulativa omogućava kraće plaćeno odsustvo tokom svakog VTO ciklusa, dok se poslodavci ohrabruju da uspostave fleksibilne modele rada, uključujući rad od kuće tokom dana neposredno pre i nakon embriotransfera.

Pored Malte, značajan primer predstavlja Portugal, koji je među pionirima u Evrope kada je reč o povezivanju radnog zakonodavstva i reproduktivnih prava. Portugalski Zakon o radu eksplicitno obuhvata medicinske tretmane vezane za asistiranu reprodukciju, omogućavajući zaposlenima plaćeno odsustvo za predviđene preglede i procedure tokom VTO ciklusa. Dodatno, poslodavcima je zabranjeno otkazivanje ugovora o radu ili narušavanje radnog statusa zaposlenog tokom aktivnog procesa lečenja, što ovu praksu čini jednim od najrobustnijih modela zaštite u Evropskoj uniji. U kombinaciji sa široko dostupnom psihološkom podrškom i sistemski razvijenim edukativnim programima koji pripremaju rukovodioce za rad sa zaposlenima uključeni u procedure VTO, Portugal prikazuje integrisani pristup koji povezuje javno zdravstvo, radno pravo i politike rodne ravnopravnosti.

U poređenju dva navedena primera može se uočiti zajednička orijentacija prema destigmatizaciji reproduktivnog zdravlja i povećanju radne sigurnosti zaposlenih koji prolaze kroz izazovne medicinske tretmane. I Malta i Portugal insistiraju na fleksibilnom radnom angažmanu, dostupnosti psihološke podrške i zabrani bilo kakvih negativnih posledica u radnom okruženju tokom procesa VTO. Ovi modeli pokazuju da se savremene evropske prakse kreću ka sistemskom priznavanju reproduktivnog zdravlja kao sastavnog dela radnih prava, čime stvaraju širi okvir za društvenu inkluziju, ravnopravnost i dugoročno unapređenje demografskih trendova.

5. PSIHOLOŠKI I RADNI ASPEKTI VTO PROCESA

Proces vantelesne oplodnje predstavlja složenu kombinaciju medicinskih, emocionalnih i socijalnih izazova koji značajno utiču na radno funkcionisanje zaposlenih. Zaposleni se tokom VTO ciklusa suočavaju sa pojačanom anksioznošću, strahom od neuspeha, osećajem krivice u slučaju izostanaka, ali i brigom o tome kako će odsustva biti dočekana u radnoj sredini. U visokoškolskim ustanovama, gde je profesionalno angažovanje intenzivno i kontinuirano – kroz održavanje nastave, istraživački rad i administrativne obaveze – neplanirana odsustva dodatno otežavaju organizaciju rada. Nedostatak jasno definisanih procedura dovodi do toga da zaposleni često skrivaju proces kroz koji prolaze, što povećava emocionalno opterećenje i stvara osećaj nesigurnosti. Istovremeno, rukovodioci bez jasnih smernica često reaguju neujednačeno, što može rezultirati neravnopravnim tretmanom i smanjenjem radnog zadovoljstva.

6. STANJE U VISOKOM OBRAZOVANJU U SRBIJI

Sektor visokog obrazovanja u Srbiji karakteriše kompleksna struktura radnih obaveza, velika fleksibilnost u organizaciji vremena i istovremeno značajan pritisak na ostvarivanje rezultata u nastavi i nauci. Uprkos tome, specifična regulativa koja bi uređivala odsustva vezana za VTO proces i dalje je nepostojeća. Praksa rešavanja ovih situacija prepuštena je autonomiji svakog fakulteta ili univerziteta, što rezultira neujednačenošću u ostvarivanju prava. Ovakva fragmentacija ukazuje na potrebu za sistemskim rešenjem koje bi osiguralo jednaka prava i jasne standarde na nivou celog sektora.

7. PREDLOZI ZA UNAPREĐENJE REGULATIVE

U cilju unapređenja radnopravnog položaja zaposlenih koji prolaze kroz VTO proces, neophodno je pristupiti izmenama Posebnog kolektivnog ugovora za zaposlene u visokom obrazovanju. Pre svega, potrebno je uvesti eksplicitno pravo na plaćeno odsustvo u trajanju od tri do pet radnih dana po pokušaju VTO, čime bi se smanjio pritisak na zaposlene i

omogućilo adekvatno obavljanje medicinskih procedura. Nadalje, visina naknade tokom bolovanja treba da iznosi 100% zarade, imajući u vidu da je VTO proces medicinski zahtevno lečenje, često praćeno intenzivnim neželjenim efektima.

Uvođenje fleksibilnih radnih aranžmana – uključujući rad od kuće i prilagođeno radno vreme – značajno bi doprinelo smanjenju stresa i povećanju efikasnosti zaposlenih. Predlaže se i uspostavljanje prava na solidarnu pomoć, kako bi se prepoznala finansijska i emotivna zahtevnost procesa. Visokoškolske ustanove trebalo bi da organizuju edukativne programe za rukovodioce i pravne službe, sa ciljem podizanja svesti o reproduktivnom zdravlju i radnim pravima zaposlenih. Poseban značaj ima uspostavljanje dostupne psihološke podrške, kroz savetovališta ili saradnju sa stručnjacima mentalnog zdravlja, čime bi se obezbedila emocionalna stabilnost zaposlenih.

8. DISKUSIJA

Primena predloženih normativnih i institucionalnih rešenja mogla bi značajno unaprediti položaj zaposlenih koji prolaze kroz proces vantelesne oplodnje u visokom obrazovanju, a samim tim i kvalitet rada u akademskom okruženju. Jačanje radnih prava zaposlenih kroz jasno definisano plaćeno odsustvo, fleksibilne radne aranžmane i garantovanu punu naknadu zarade tokom odsustva povezanog sa VTO procesom predstavlja temelj stvaranja sigurnog i podsticajnog radnog okruženja. Takva rešenja ne samo da doprinose pravnoj izvesnosti, već ujedno omogućavaju zaposlenima da se posvete medicinskim tretmanima bez straha od negativnih posledica po radni status, napredovanje ili profesionalnu reputaciju.

Nasuprot tome, izostanak sistemskog pristupa i dalje oslanjanje na ad hoc rešenja mogu dovesti do dugoročnog pada motivacije zaposlenih, povećanog stresa, kao i odliva visokoobrazovanog kadra u institucije koje nude više razumevanja i podrške. U reputacionom smislu, ustanove koje zanemaruju ovaj aspekt radnih prava rizikuju da budu percipirane kao institucije koje ne prate savremene standarde brige o zaposlenima, što može negativno uticati na njihovu privlačnost za nove kadrove i studente. Stoga je jasno da su sveobuhvatna, jednaka i jasno definisana rešenja nužna za dugoročno unapređenje kvaliteta akademskog sistema i dobrobiti zaposlenih koji prolaze kroz VTO proces.

9. ZAKLJUČAK

Proces vantelesne oplodnje predstavlja složen medicinski, emocionalni i socijalni izazov za zaposlene, naročito u sektorima sa visokim stepenom profesionalnog angažovanja, poput visokog obrazovanja. Iako važeći zakonski okvir Republike Srbije formalno prepoznaje određena prava zaposlenih u vezi sa medicinski potpomognutom oplodnjom, analiza prakse jasno pokazuje postojanje značajnih nedostataka u praktičnoj primeni. Nepostojanje uniformnih procedura, neujednačena praksa među ustanovama i ograničena institucionalna podrška dovode do situacija u kojima zaposleni osećaju nesigurnost, dodatni stres i otežano usklađivanje profesionalnih i zdravstvenih obaveza.

S obzirom na ove izazove, neophodno je kroz izmene Posebnog kolektivnog ugovora za zaposlene u visokom obrazovanju uvesti jasnu i posebnu regulaciju plaćenog odsustva za vreme VTO procesa. Implementacija predloženih mera omogućila bi kreiranje značajno podsticajnijeg radnog okruženja, u kojem zaposleni mogu nesmetano uskladiti profesionalne obaveze i proces vantelesne oplodnje, što doprinosi očuvanju mentalnog zdravlja i emocionalne stabilnosti. Istovremeno, ovakva politika povećava atraktivnost i stabilnost visokih obrazovnih ustanova, smanjuje rizik od odliva kadra i doprinosi jačanju sveukupnog kvaliteta obrazovnog sistema, čime se postiže dugoročna korist i za zaposlene i za instituciju u celini.

LITERATURA

[1] Zakon o radu Republike Srbije (“Službeni glasnik RS”, br. 24/2005…).

[2] Zakon o zdravstvenom osiguranju (“Službeni glasnik RS”, br. 25/2019…).

[3] Zakon o zabrani diskriminacije (“Službeni glasnik RS”, br. 22/2009…).

[4] Posebni kolektivni ugovor za osnovne i srednjE škole i domove učenika (2025).

[5] Evropska komisija (2023): Policy approaches to reproductive health in employment.

[6] European Commission. (2023). *Reproductive health and employment rights in the EU*. Publications Office of the European Union.

[7] Government of Malta. (2022). *Assisted Reproductive Technology and Employment Protection Guidelines*. Ministry for Social Policy and Children’s Rights.

[8] Ministry of Labour, Solidarity and Social Security. (2021). *Labour Code and reproductive health provisions*. Government of Portugal.

[9] World Health Organization. (2021). *Infertility prevalence and policy responses in Europe*. WHO Regional Office for Europe.

[10] WHO (2021): Mental Health in Fertility Care.

[11] OECD (2024): Work-Life Balance and Reproductive Rights.

AKTUELNI PROBLEMI MENTALNOG ZDRAVLJA MLADIH
CURRENT PROBLEMS OF YOUTH MENTAL HEALTH

Mirjana Stanković Đorđević

Sadržaj - Period adolescencije i mladosti donosi specifične razvojne zadatke i izazove, kao i iznenadne životne događaje – stresove, krizne situacije sa kojima se mlada osoba suočava i koje prevladava manje ili više uspešno. Stres se definiše kao rezultat svesne procene pojedinca da je njegov odnos sa okolinom poremećen. Kriza je poremećaj postojećeg stanja, period dezorganizacije, tokom koga osoba pokušava da pronađe načine da razreši problem. Eko-sistemski pristup mentalnom zdravlju akcenat sa pojedinca i njegovih mentalnih problema pomera na okruženje i naglašava značaj socijalnih činilaca. Transakcioni model prevladavanja, ističe važnost percepcije i atribucije okolnih događaja, dok varijable okoline i sredine sagledava relaciono – kao međuigru osobe i okoline. Individue u skladu sa svojim ličnosnim karakteristikama i okolnostima koriste različite stilove prevladavanja kao lične tendencije „da se reaguje na uobičajeni ili preferirani način u različitim stresnim situacijama koje imaju slične osnovne karakteristike“. Prevladavanje ima dve osnovne funkcije - rešavanje problema i emocionalnu regulaciju, te i dva osnovna stila prevladavanja; prvi je usmeren na rešavanje problema, a drugi na smanjivanje napetosti i uspostavljanje emocionalne ravnoteže. Dvodomenzionalnom modelu prevladavanja stresa se devedestih godina prošlog veka pridodaje kao treća dimenzija traženje socijalne podrške Amirkhan, dok Endler i Praker kao treću dimenziju definišu prevladavanje usmereno na izbegavanje. Stilovi prevladavanja stresa zavise od ličnih karakteristika pojedinaca i okolnosti koje izazivaju stres. Na lične faktore profesionalci mogu da utiču kroz individualni psihoterapijski rad, dok na okolinske treba delovati sistemski – što psihologija u zajednici smatra primarnim preventivnim radom. Pozitivna psihologija i razvojni pristup - antropocentrična perspektiva su usmereni na proučavanje i praktikovanje pozitivnih emocija, snaga i vrlina koje omogućavaju optimalno funkcionisanje i napredovanje.

Ključne reči: mladi, stres, kriza, prevladavanje stresa, pozitivna psihologija.

Abstract - The period of adolescence and youth brings specific developmental tasks and challenges, as well as sudden life events - stressors, crises - that young individuals encounter and overcome with varying degrees of success. Stress is defined as the result of an individual's conscious appraisal that their relationship with the environment has been disturbed. A crisis represents a disruption of the existing state, a period of disorganization during which a person attempts to find ways to resolve the problem. The ecosystems approach to mental healthshifts the focus from the individual and their mental problems to the broader environment, emphasizing the importance of social factors. The transactional model of coping, highlights the significance of perception and attribution of surrounding events, viewing environmental variables relationally - as an interplay between the individual and the environment. Individuals, in line with their personality characteristics and circumstances, employ different coping styles as personal tendencies "to react in a habitual or preferred manner across various stressful situations that share similar basic characteristics". Coping has two primary functions - problem solving and emotional regulation - and thus two primary coping styles: one oriented toward solving the problem, and the other toward reducing tension and restoring emotional equilibrium. In the 1990s, a third dimension was added to the two-dimensional model of stress coping - seeking social support (Amirkhan), while Endler and Parker defined avoidance-oriented coping as the third dimension. Coping styles depend on individuals' personal characteristics and the circumstances that trigger stress. Professionals may influence personal factors through individual psychotherapeutic work, whereas environmental factors require systemic interventions - considered by community psychology to be a form of primary prevention. Positive psychology and the developmental approach—an anthropocentric perspective - focus on studying and fostering positive emotions, strengths, and virtues that enable optimal functioning and advancement.

Keywords: youth, stress, crisis, stress coping, positive psychology.

1. UVOD

Savremeni uslovi života i zahtevi potrošačkog društva ostavljaju malo ili ni malo vremena porodici i roditeljima da se bave mentalnim zdravljem svoje dece. Odatle su uloga i odgovornost obrazovnih institucija i nastavnika u brizi za mentalno zdravlje mladih sve značajnije. Nastavnici, po prirodi svoje profesije, ali i na osnovu stečenih profesionalnih kompetencija, moraju i treba da vide u svojim studentima mlade osobe koji se pod njihovim vođstvom razvijaju u zrele ljude otporne na stres i životne krize.

Mirjana Stanković – Đorđević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Pirot, Beogradska, 18, Niš (imejl: mirjana.stankovic.djordjevic@akademijanis.edu.rs).

2. MENTALNO ZDRAVLJE I MLADI

Koncept mentalnog zdravlja uključuje subjektivni osećaj blagostanja, samoefikasnosti, nezavisnosti, kompetencije, sposobnost uspostavljanja harmoničnih odnosa sa drugim ljudima, međugeneracijskih odnosa i sposobnost realizacije sopstvenih intelektualnih i emocionalnih potencijala tj. mogućnost da se konstruktivno menja socijalna i fizička sredina [8].

Ekološki pristup mentalnom zdravlju [2] polazeći od stanovišta o recipročnom odnosu između individue i njegove uže i šire okoline, u fokus razmatranja stavlja snage i potencijale pojedinca, ne samo unutar porodičnog sistema, već šire, kroz povezanost pojedinca sa drugim sistemima u užoj i

široj zajednici. Za razliku od tradicionalnog pristupa koji je naglasak stavljao na deficite, slabosti i mane, istorijski obrt predstavlja usmerenost na snage, odnosno kvalitete, potencijale i mogućnosti u pojedincu, porodici, zajednici, radi ostvarivanja što kvalitetnijeg i srećnijeg života. U skladu sa eko-sitemskim pristupom škola i međuodnosi u školskom okruženju spadaju u mikro i mezosistemske odnose, u kojima se posebno naglašava međuodnos vršnjaka i odnos nastavnik – (učenik) student.

Period adolescencije je period prelaska iz detinjstva u odraslo doba, koji odlikuju težnje za dostizanjem ciljeva povezanih sa standardima socijalne sredine, kao i normi sveukupnog fizičkog i mentalnog razvoja. Kasni period adolescencije, kome pripada i studentska populacija, se najčešće označava kao period bura, bujanja, rasta i razvoja, ali i kao period kriza. Adolescent pokušava da nađe odgovore na brojna pitanja vezana za sopstvenu ličnost i svet koji ga okružuje, pri tom, svoje dileme razrešava na konstruktivan ili manje konstruktivan način. Važni životni događaji - prelazak u drugu sredinu – drugi grad, fakultet, novo društvo, uz karakterističnu emocionalnu nestabilnost i traganje za identitetom, nose sobom rizik od niza stresova i manjih ili ozbiljnijih kriza. Dodatni pritisak može stvoriti strepnja od (školskog) neuspeha, očekivanja okoline, lične ambicije.

Mentalno zdravlje mladih je deo zdravstvenih politika u Republici Srbiji - Nacionalna strategija za mlade (2015 – 2025) navodi kao strateški cilj zdravlje i blagostanje mladih muškaraca i žena [9]; krajem 2019. godine donet je Program o zaštiti mentalnog zdravlja u Republici Srbiji za period 2019-2026. [10] u kome je naglasak na deinstitucionalizaciji i saradnji civilnog i društvenog sektora; 2023. godine izglasan je Zakon o zaštiti lica sa mentalnim smetnjama [11].

Postavlja se pitanje – da li dovoljno radimo na očuvanju i unapređenju mentalnog zdravlja mladih?

Podaci govore da „oko 20% populacije dece i adolescenata na svetu ima neki poremećaj vezan za mentalno zdravlje, a neuropsihijatrijski poremećaji su među vodećim uzrocima invalidnosti kod mladih ljudi na svetu. Smatra se da polovina mentalnih poremećaja počinje pre 14. godine života, ali većina ostaje neprepoznata i nelečena“ [12]. Najčešći poremećaji mentalnog zdravlja u periodu adolescencije su: emocionalni poremećaji, poremećaji ponašanja, poremećaji ponašanja u ishrani (anoreksija, bulimija), psihoze, depresija i suicidalne ideje, samopovređivanje i rizična ponašanja (upotreba psihoaktivnih supstanci, rizično seksualno ponašanje i vršnjačko nasilje).

Istraživanje zdravlja mladih: Položaj i potrebe mladih u Republici Srbiji koje je sprovela Krovna organizacija mladih Srbije [13] govori o tome da je samo oko trećine mladih - 30,7% imalo nivoe stresa u okviru normalnih vrednosti, 68,5% je imalo simptome anksioznosti, 51,9% simptome umerene ili teške depresije.

Istraživanje „Mentalno zdravlje mladih“ koje je sprovedeno u Novom Sadu [14] govori o sledećem: trećina ispitanika (34%) smanjuje stres tako što razgovara sa osobom koju smatra bliskom, četvrtina (25%) se osami, 16% se bavi fizičkom aktivnošću, 10% čeka da prođe samo od sebe, dok 3% rešenje pronalazi na internetu. Mladi iz ispitivanog uzorka najradije traže pomoć ili savet od članova porodice (36%), bliskim prijateljima se obraća 26% ispitanika, 18% pomoć dobija od psihologa, dok se 8% izjasnilo da ne bi tražilo pomoć uopšte. Kad je u pitanju promocija mentalnog zdravlja, 39% ispitanog uzorka navodi da bi učestvovalo u događajima podizanja svesti o mentalnom zdravlju, za razgovor o mentalnom zdravlju sa prijateljima i poznanicima se opredeljuje 28% ispitanika, 11% bi učestvovalo u info-kampanjama, 10% bi promovisalo i upućivalo na pouzdane savetodavne usluge, 6% navodi da bi pisali ili snimali o pozitivnim uzorima i smanjenju stigme, a 4% se ne bi angažovalo.

3. STRES, KRIZE I NAČINI PREVLADAVANJA

Stres se definiše kao „sklop emocionalnih, misaonih, telesnih i bihejvioralnih reakcija do kojih dolazi zbog procene događaja kao opasnog ili uznemirujućeg, a koji nastaje usled zahteva okoline kojima je nemoguće odgovoriti“ [15]. Ovo podrazumeva interakcionističko shvatanje stresa kao produkta kompleksne transakcije između potreba pojedinca i sredinskih zahteva i prinuda.

Stresori su događaji koji se procenjuju kao ugrožavajući ili opasni po sopstveni život, život nama važnih ljudi, materijalna dobra, socijalni položaj, samopoštovanje ili događaji za koje smatramo da mogu poremetiti uobičajeni tok našeg života. Stres je, prema Lazarusu [3], unutrašnje stanje ličnosti, do koga dolazi procenom spoljašnjeg događaja kao stresora i čini ga sklop emocionalnih, kognitivnih, telesnih i bihejvioralnih reakcija. S obzirom na vremensku dimenziju stres može da bude akutan i hroničan; posledice hroničnog stresa se procenjuju kao teže. Najteže posledice dugotrajnog stresa su psihosomatske bolesti – čir želudca, oboljenja štitne žlezde, kardiološka oboljenja, neka kožna oboljenja i dr.

Uz pojam stresa često se, nekad i (pogrešno) sinonimno koristi pojam traumatskog događaja i traume. Traumatski događaji su retki, iznenadni, intenzivni, i, za razliku od stresa, ne zavise od kognitivne procene događaja i prate ih intenzivna osećanja straha, bespomoćnosti, užasa.

I stresni i traumatski događaji mogu (ali i ne moraju) izazvati krizu. Pojam kriza se odnosi na „kratku psihičku pometnju koja se događa s vremena na vreme osobama čiji životni problemi u datom trenutku prevazilaze njihove kapacitete“ [15]. Ovakvo određenje pojma krize ne nosi sobom negativan predznak, te možemo govoriti o razvojnim ili normativnim krizama i akcidentnim ili zadesnim. Lazarus i Koen, prema Vlajković [8] govore o katastrofama kao masivnim krizama i „daily hassles“, svakodnevnim nevoljama, koje mogu da nas prate i iscrpljuju danima i mesecima.

Vlajković [8] ističe da stres, traumu i krizu treba posmatrati u širem teorijskom kontekstu i u međusobnoj interakciji. Ono što ih povezuje jeste nesklad između zahteva sredine i kapaciteta ličnosti da na te zahteve adekvatno odgovori. Ovi neskladi su nekad interpretirani situacionistički, o stanju traume interpretacije su personološke, dok Lazarus [3] u svom shvatanju stresa neskladu osoba – sredina prilazi transakcionistički. Trauma i stres u suštini predstavljaju rizik i

opasnost, a kriza (normativna, razvojna) se označava kao mogućnost i šansa.

Hoće li stres i kriza biti doživljeni kao šanse za dalji razvoj zavisi od načina njihovog prevladavanja. Lazarus i Folkmanova [1] prevladavanje stresa shvataju kao dinamičan proces koji se menja tokom vremena u skladu sa objektivnim zahtevima i subjektivnom procenom situacije. Prevladavanje je sve ono što osoba čini na kognitivnom ili bihejvioralnom planu sa ciljem rešavanja problema i/ili smanjenja intenziteta psihofiziološke reakcije u okviru stres-procesa. Individue u skladu sa svojim ličnosnim karakteristikama i okolnostima koriste različite stilove prevladavanja kao lične tendencije „da se reaguje na uobičajeni ili preferirani način u različitim stresnim situacijama koje imaju slične osnovne karakteristike“ [4]. Prevladavanje ima dve osnovne funkcije - rešavanje problema i emocionalnu regulaciju, te i dva osnovna stila prevladavanja; prvi je usmeren na rešavanje problema, a drugi na smanjivanje napetosti i uspostavljanje emocionalne ravnoteže. Prevladavanje usmereno na problem predstavlja pokušaj osobe da izmeni i/ili reši svoj problematičan odnos sa okolinom i umanji negativne efekte stresne situacije. Prevladavanje usmereno na emocije podrazumeva uključivanje fantazije, odvlačenje pažnje, kao i kognitivne, svesne aktivnosti pripisivanja novog značenja situaciji, koje osoba preduzima radi kontrole afekata.

Devedesetih godina prošlog veka dvodimenzionalnom modelu neki autori pridodaju treću dimenziju. Amirkhan [5] kao treću dimenziju definiše traženje socijalne podrške, a Endler i Parker [6] definišu treći tip prevladavanja kao prevladavanje usmereno na izbegavanje. Pod ovim stilom prevladavanja oni podrazumevaju kognitivne, emocionalne i ponašajne pokušaje udaljavanja od izvora stresa ili od psihičkih i telesnih reakcija na stresor.

4. NASTAVNICI KAO PODRŠKA MENTALNOM ZDRAVLJU MLADIH

Škole su važan socijalni resurs u jačanju otpornosti na stresne okolnosti i nepovoljne uticaje iz okruženja, kao i na razvoj pozitivnih individualnih stilova prevladavanja stresa. Istraživanje Rozentala i saradnika [16] govori o značaju socijalne podrške, posebno odraslih osoba od poverenja (koji nisu njihovi roditelji i u koje se ubrajaju i nastavnici), kao zaštitnog faktora u pojavi depresivnosti kod adolescenata. Jedno od istraživanja, rađeno u Hrvatskoj, koje razmatra ulogu škole i nastavnika u ispitivanju varijabli mentalnog zdravlja učenika pokazuje da su efekti podrške nastavnika bili značajni i čak veći od efekta podrške prijatelja u moderiranju odnosa svakodnevnih negativnih događaja i depresivnosti adolescenata [17].

Mere primarne prevencije i zaštite mentalnog zdravlja, poput učenja kako negovati mentalno zdravlje, ne prestaju prelaskom iz škola na fakultete. Potrebno je da briga o mentalnom zdravlju studenata bude prisutna u komunikaciji nastavnik – student. Važno je da nastavnici budu zainteresovani za mentalnu dobrobit svojih studenata, da umeju da prepoznaju probleme mentalnog zdravlja ukoliko se pojave i da, shodno svojim kompetencijama, pruže podršku i informacije studentima u vezi pružanja profesionalne pomoći. „Pokazalo se da programi nastave i učenja koji se usredsređuju na socijalno, emocionalno i akademsko učenje od vrtića nadalje poboljašavaju stav, ponašanje i akademski uspeh, a da podrška koju studenti dobiju štiti od efekta traumatizacije, podložnosti bolestima zavisnosti i napuštanja obrazovanja. Važno je negovati kulturu razumevanja u kojoj se studenti koji imaju poteškoće posmatraju kao osobe kojima je potrebna pomoć, a ne kao teret“ [18].

Osnovne veštine savetovanja nastavnici uče i razvijaju tokom godina rada sa mladima. One podrazumevaju izgradnju odnosa – zasnovanih na empatiji, poverenju i poštovanju; aktivno slušanje – održavanje kontakta očima, odgovarajući govor tela, klimanje glavom, moduliran ton – sve ovo ukazuje na empatiju; veštinu razgovora – postavljanje pitanja otvorenog tipa, na neutralan, neosuđujući način, reflektivno slušanje; veština posmatranja i verbalnog i neverbalnog ponašanja; obezbeđivanje informacija – pružanje činjeničnih informacija i dovođenje u pitanje zabluda i dezinformacija.

Nastavnici treba da u okviru mera prevencije kod mladih podstiču rezilijentnost – otpornost na stresne situacije kroz jačanje pozitivnih strategija prevladavanja stresa – prevladavanje usmereno na rešavanje problema, pre svih, kao i ličnosnih osobina koje utiču na izbor pozitivnih strategija prevladavanja stresa, poput ekstroverzije, doživljaja ličnog blagostanja, samoefikasnosti, samopoštovanja.

Istraživanja govore o visokoj povezanosti neuroticizma i prevladavanja stresa usmerenog na emocije [4]; dok je ekstroverzija povezana sa pozitivnim mišljenjem i prevladavanjem usmerenim na problem [5]. Hadži-Pešić, Mitrović i Mitić [19] u svom istraživanju potvrđuju da studenti koji preferiraju suočavanje usmereno na problem i socijalnu diverziju imaju viši nivo subjektivnog blagostanja, dok je je prevladavanje usmereno na emocije povezano sa nižim nivoom subjektivnog blagostanja. Istraživanje Panić, Radojković i Hadži Pešić [20] na uzorku studentske populacije pokazuje povezanost sklonosti prema psihosomatici, viših skorova na anksioznosti i prevladavanja stresa usmerenog na emocije. Istraživanje koje je sprovela Barać [21] na srednjoškolcima i studentima potvrđuje povezanost samoefikasnosti i samopoštovanja, ekstroverzije, savesnosti i otvorenosti. Što su ispitivani učenici i studenti samoefikasniji, to je viši nivo njihovog samopoštovanja, ekstrovertniji su, savesniji prilikom izvršavanja zadataka i otvoreniji prema novim iskustvima.

Nastavnici nisu obučeni savetnici – klinički psiholozi, psihijatri, ali svaki nastavnik „ treba da posmatra ponašanje svojih studenata, da bude otvoren da čuje žalbe ili probleme te da, ako njegove ingerencije i veštine prevazilaze problem, uputi studenta odgovarajućim profesionalcima“ [18].

5. ZAKLJUČAK

Razvojni pristup - antropocentrična perspektiva treba da bude prisutna u obrazovnim i vaspitnim ustanovama tokom čitavog perioda obrazovanja. Mladi ljudi su, zbog prirode svoje razvojne faze i aktuelne društvene situacije, posebno vulnerabilna populacija kada je u pitanju mentalno zdravlje. Stoga je važno da svi koji se lično i profesionalno bave

mladima budu upoznati sa pricipima pozitivne psihologije, merama primarne prevencije i zaštite mentalnog zdravlja. Pozitivna psihologija na stanja stresa i krize gleda kao na mogućnost za novi rast i razvoj, te tako mladim ljudima otvara mogućnosti da uz pomoć i podršku neposrednog socijalnog okruženja – porodice i nastavnika iz stresnih situacija i kriza izađu jači i kompetentniji.

LITERATURA

[1] Lazarus, R.S., Folkman, S. (2004). Stres, procena i suočavanje. Jatrebarsko: Naklada Slap.

[2] Bronfenbrener, J. (1997). Ekologija ljudskog razvoja. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredsta.

[3] Lazarus, R. S. (1991). *Emotion and adaptation*. New York: Oxford University Press.

[4] Зотовић, М. (2004). Превладавање стреса: концептуална и теријска питања са становишта транакционистичке теорије. *Психологија.* 37 (1). 5 – 32.

[5] Amirkhan, J. H., Risinger, R. T., & Swickert, R. J. (1995). Extraversion: A "hidden" personality factor in coping? *Journal of Personality, 63*(2), 189–212.

[6] Endler, N. S. and Parker, J. J. (1990). Multidimensional Assesment of coping: A critical evaluation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 58 (5). pp. 844 – 854.

[7] Seligman, M. E. P. (2008). Positive Health. *Applied Psychology: An International Review*, 57, pp. 3 – 18.

[8] Vlajković, J. (2005). *Životne krize, prevencija i prevazilaženje*. Beograd: IJP „Žarko Albulj".

[9] Sl. glasnik Repubilke Srbije (2015). *Nacionalna strategija za mlade* (2015 – 2025), br. 22/15.

[10] Sl. glasnik Republike Srbije (2019*). Program o zaštiti mentalnog zdravlja u Republici Srbiji za period 2019-2026*. br. 84/19.

[11] Sl. glasnik Republike Srbije (2013). *Zakon o zaštiti lica sa mentalnim smetnjama*, br. 45/13.

[12] Zavod za javno zdravlje Pančevo (2024). *Mladi i mentalno zdravlje*. https//www.zjpa.org.rs, (pristupljeno 9.9.2025).

[13] Đikanović, B. (2021). *Istraživanje zdravlja mladih: Položaj i potrebe mladih u Republici Srbiji*. Beograd: Krovna organizacija mladih Srbije.

[14] U Report,https// deaps.org.20210607_1*Mentalno zdravlje mladih*, (pristupljeno 7.9.2025).

[15] Arambašić, L.(ur) (2000). *Psihološke krizne intervencije: psihološka prva pomoć nakon kriznih događaja.* Zagreb: Društvo za psihološku pomoć.

[16] Rosenthal, B.S., Wilson, W. C. and Futch, V. A. (2009). Trauma, Protection and Distress in Late Adolescence: A Multi Determinant Approach. *Adolescence*, 44 (176), pp. 693 – 703.

[17] Kurtović, A. i Živčić-Bećirević, I. (2012). Uloga svakodnevnih negativnih događaja u depresivnosti adolescenata. *Društvena istraživanja.* 21, 3 (117), 671–691.

[18] Aleksić Hil, O. i sar. (2024). *Mentalno zdravlje u školama*. Beograd: Institut za mentalno zdravlje.

[19] Hadži-Pešić, M. Mitrović, M. i Mitić, P. (2012). *Subjektivno blagostanje i strategije suočavanja sa stresnim situacijama kod studenata.* U Vidanović, S.; Hedrih, V. i Ranđelović, K. (prir): Dani primenjene psihologiji, Zbornik rezimea. Niš: Filozofski fakultet.

[20] Panić, D., Radojković, D. i Hadži Pešić, M. (2013). Osobine ličnosti, strategije prevladavanja stresa i sklonost psihosomatici studenata. *Teme*. XXXVII/2. 735 – 751.

[21] Barać, J. (2013). Povezanost nekih značajki ličnosti i akademskog uspjeha srednjoškolaca i studenata. *Putokazi*. Fakultet društvenih znanosti. 1 (2). 119 – 131.

ANALIZA I ISTRAŽIVANJE ZADOVOLJSTVA POTROŠAČA ONLAJN KUPOVINOM

ANALYSIS AND RESEARCH OF CONSUMER SATISFACTION WITH ONLINE SHOPPING

Dragana Đurić, Jelena Damnjanović i Marko Pavlović

Sadržaj – Zadovoljstvo potrošača i njihova lojalnost su osnova za dugoročno i uspešno poslovanje danas. Stoga kompanije pribegavaju različitim strategijama i taktikama kako bi zadovoljile raznovrsne potrebe, želje i interesovanja svojih potrošača, istovremeno privlačeći i zadržavajući nove. Pojavom interneta i razvojem društvenih mreža, internet poslovanje, odnosno elektronska trgovina, postalo je sve dominantnije, pa je samim tim i koncept e-CRM dobio na značaju. Uvođenje različitih programa lojalnosti, uz istovremeno naglašavanje pouzdanosti, kvaliteta i bezbednosti kupovine putem interneta, omogućilo je zagarantovani uspeh i ostvarivanje konkurentske prednosti koja se traži. Na srpskom tržištu, u modnoj industriji, ističe se brend Mona, koji je analiziran u ovom radu. Pored studije slučaja, sprovedena je i anketa, koja ima za cilj da ispita da li su i u kojoj meri njihovi potrošači zadovoljni kupovinom putem interneta i šta, po njihovom mišljenju, treba dodatno poboljšati. Na samom kraju rada, može se očekivati sticanje dodatnih saznanja o tome koliko su zadovoljstvo i lojalnost kupaca važni u savremenim poslovnim uslovima.

Ključne reči: zadovoljstvo potrošača, lojalnost potrošača, programi lojalnosti i kupovina preko interneta.

Abstract – Consumer satisfaction and their loyalty are the basis for long-term and successful business today. Therefore, companies resort to different strategies and tactics to satisfy the diverse needs, wants and interests of their consumers, while attracting and retaining new ones. With the advent of the Internet and the development of social networks, Internet busines. E-commerce has become increasingly dominant, and therefore the e-CRM concept has gained importance. The introduction of various loyalty programs, while at the same time emphasizing the reliability, quality and safety of online shopping, has enabled guaranteed success and the realization of the competitive advantage that is being sought. On the Serbian market, in the fashion industry, the Mona brand stands out, which is analyzed in this paper. In addition to the case study, a survey was also conducted, which aims to examine whether and to what extent their consumers are satisfied with online shopping, and what, in their opinion, should be further improved. At the very end of the work, one can expect to gain additional knowledge about how important customer satisfaction and loyalty are in modern business conditions.

Keywords: consumer satisfaction, consumer loyalty, loyalty programs and online shopping.

1. INTRODUCTION

The modern market economy has the effect that supply-side market subjects around the world are slowly accepting the fact that their chances in the market do not depend so much on reducing production costs and increasing profits, as on developing completely new revenue streams based on new ideas. And that, first of all, by building stronger connections and relationships with their consumers, which are characterized by a relationship of partnership rather than the classic law of supply and demand. In modern organized companies, marketing is the central function of the company that permeates all other functions of the company, and the central place in its conception is occupied by the consumer, his needs and demands. Only by satisfying those needs, wishes, demands and expectations can a company survive on the market, i.e. make a profit and be competitive [1]. Consumer satisfaction is an important topic of numerous marketing researches. It is a term that indicates how satisfied the consumer is with the product/service. Satisfaction in this context is important, because acquiring new and loyal consumers is an expensive and long-term process, which significantly determines the further success of the business. Loyal consumers are characterized by a significantly shorter sales cycle, because they do not spend time comparing and researching the range of products/services. In addition, satisfied consumers are more likely to recommend the same product/service or brand to their friends and acquaintances. In addition, satisfied consumers help the company to ensure its market competitiveness, to increase profits, to further strengthen its image and reputation. According to all the above, it is quite understandable that modern companies apply different strategies and tactics to satisfy the needs of their target groups, while at the same time encouraging their loyalty. The aim of the work is reflected in the research of consumer satisfaction with online shopping in different sectorial industries, with special reference to fashion products of the Mona brand. The subject of the work is to examine to what extent the participants in the survey are satisfied with the online sales of the fashion brand Mona, and based on the answers received, to make suggestions for improvements.

Dragana Đurić, Akademija strukovnih studija Politehnika, Beograd, Katarine Ambrozić 3, 11120 Beograd (imejl: ddjuric@politehnika.edu.rs)

Jelena Damjanović, Visoka Poslovna škola strukovnih studija Novi Sad, Vladimira Perića – Valtera 4, 21102 Novi Sad (imejl: jdamnjanovic5@gmail.com)

Marko Pavlović, Akademija strukovnih studija Politehnika, Beograd, Katarine Ambrozić 3, 11120 Beograd (imejl: mpavlovic@politehnika.edu.rs)

2. THE CONCEPT AND IMPORTANCE OF CONSUMER SATISFACTION

Consumer satisfaction has always been an important topic for numerous authors, because this segment is the key to business success. Kotler and Keller, as one of the most

prominent authors, explained that consumer satisfaction occurs when there is a comparison of product performance with customer/consumer expectations. When a business makes a good impression on its target group, they will be both more satisfied and motivated to continue using that product/service in the future [2]. Consumer satisfaction can also be explained as the degree to which needs, desires, interests and expectations are realized when using products, that is, services. Therefore, it is determined on the basis of the consumer's perception, with the fact that it should be kept in mind that their individual category of perception differs from person to person and that it is influenced by a large number of factors [3]. As a rule, consumer satisfaction is reflected in the behavior displayed by consumers in the following purchases, through more probabilities of repeating purchases of the same products/services or, on the other hand, through the probabilities of abandoning them. Judging by this way of looking at it, it can be said that consumer satisfaction and consumer loyalty are in a strong, positive correlation, because with the growth of satisfaction comes the growth of loyalty and vice versa [4]. Consumer satisfaction derives from the consumer's attitude towards a particular product/service or brand after its consumption. This term is also defined as the degree to which the product/service can meet consumer expectations. Thus, it is a cognitive state about a product, service or brand, whether it is satisfactory or unsatisfactory after purchase and use [5]. In their work, the same authors highlighted two more definitions of this term: a conceptual and an operational definition. According to the first one, consumer satisfaction is the result of purchasing products/services, where the buyer makes a comparison between costs and benefits. According to the operational definition, consumer satisfaction is the consumer's attitude from which a conclusion can be drawn about his overall satisfaction and the influence of various attributes on the construction of that attitude. Consumer satisfaction is described as the way consumers shop in terms of their experiences during and after the purchase. Perceived value is when the consumer who caused the transaction evaluates the perceived value of the costs in terms of the benefits of social, economic and technical services [6]. Consumer satisfaction is also represented as the purchase of products/services, while consumer trust continues after the purchase, as a result of the fulfillment of the wishes and expectations of the buyer/consumer.

In his study, Masyhuri (2022) focused on consumer satisfaction with e-shopping. On that occasion, he emphasized several important segments, namely: consumer services, e-commerce fulfillment/reliability, e-commerce ease of use, product/service portfolio, and security and privacy. When it comes to services intended for consumers, it is important for companies to have competent employees who will efficiently and clearly respond to their clients' inquiries, for the sake of their better information and for solving the problems they are facing. In terms of fulfillment, that is, reliability, it is important that e-commerce enables customers to make accurate and timely online transactions, in order to attract new and retain existing customers. Ease of use refers to the ease of use of a company's website and all other features related to online shopping. At the same time, it is important to provide a wide range of products/services in order to meet the different needs of customers. And finally, security and privacy also apply to online transactions, which aim to protect customers' personal data. Consumer satisfaction is extremely important, both for consumers themselves and for organizations, because their satisfaction directly affects business success, strengthening image and reputation, strengthening the brand, as well as ensuring market competitiveness. That is why every company must be oriented towards achieving and maintaining a high level of consumer satisfaction by providing quality products/services at affordable prices. If the outcome or experience falls below expectations, the consumer will be dissatisfied and will tell others about their bad experience much more than satisfied customers do. Precisely because of this, consumer satisfaction should be in the center of attention of modern companies [7].

3. CRM BUSINESS STRATEGY FOR IMPROVING CONSUMER LOYALTY

Consumer loyalty is closely related to consumer behavior. If he/she is loyal to a certain product, service or brand, he/she exhibits purchasing behavior that is defined as non-random purchase of that product, service or brand [8]. Consumer satisfaction is closely related to consumer retention, because when he is satisfied with a certain product/service, he will use it more often and more intensively and will become loyal to it over time. Consumer loyalty is the frequency of repeated purchases of the same products/services, the same brand or the same company when the need arises. It is a deep-seated commitment to repurchase a previously preferred brand. Consumer loyalty indicates a deep commitment to repeat purchases and promote products/services that consumers prefer at the purchase stage.

The concept of customer relationship management (hereinafter referred to as: CRM) represents a business strategy that enables modern companies to achieve a higher rate of profitability, to attract and retain the most promising customers, and to simply secure their market position. This business strategy is designed to improve customer loyalty from all sources of the organization, whether internal or external. It consists of three important concepts, namely: 1) people, 2) processes and 3) technologies. CRM is based on the idea of improving the company's business, emphasizing the use of modern technology and e-commerce. If an adequate CRM concept is established, it is possible to: provide better services to clients, simplify the sales and marketing process, attract new and retain loyal users, increase user satisfaction, strengthen image and reputation, and the like [9]. The primary goal of the CRM concept is to optimize consumer satisfaction, increase market share, increase profitability and business efficiency, while at the same time establishing successful and long-term relationships with clients. The overall objective emphasizes: customers, products and the life cycle that enables the highest degree of profitability. The strategic and specific goals of the CRM concept should not be left out. Strategic goals include: improving profitability, extending customer lifetime value, differentiation, attracting new and retaining existing customers. On the other hand, specific goals include provision of high-quality services, construction of a more efficient info-

center, more efficient and effective sales, simplification of marketing and sales activities and assistance to employees working in sales [9]. In short, the CRM concept must be such as to ensure interaction in the company-consumer relationship, allowing the company to coordinate all communications in such a way that the consumer is presented with a personalized message and image.

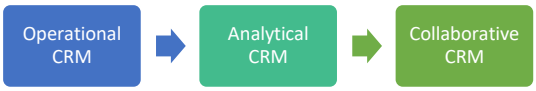


Figure 1. *Elements of the CRM concept*

Three key elements of the CRM concept can be distinguished: operational, analytical and collaborative CRM. Operational relies on data entry into the information system thanks to applications created for client monitoring. On the other hand, collaborative CRM is based with the aim of establishing and maintaining an interactive relationship with clients thanks to all available media communication channels (both traditional and modern channels). And finally, analytical CRM is also the most complex element of the CRM concept, which enables detailed analysis of a huge amount of data, which is why a high level of knowledge in this area is required.

In the era of digitization, the e-CRM concept, which implies electronic management of clients, is becoming more and more dominant, all for the sake of increasing profits and encouraging e-commerce. The key challenges faced by e-CRM are: [10] Using the website to increase the number of loyal customers, conversions in online and offline environments based on e-mails and the web, quality management of e-mail list, using e-mail marketing to support sales and cross-selling, data mining to improve targeting, provision, customization and personalization of online services intended for target groups, providing online user experience, quality management of online services; Managing the customer's multi-channel experiences.

The three most important benefits of the e-CRM concept can be mentioned: 1) achieving greater cost efficiency, 2) achieving mass customization of marketing messages and 3) improving and expanding the depth and breadth of relationships with target groups. When it comes to achieving greater cost efficiency, we actually mean the possibility of reaching the client's address. In other words, the emphasis is on targeting, all in order to attract and satisfy different market demands, i.e. customers. Achieving mass customization of marketing messages implies the use of modern information and communication technology in terms of creating and customizing e-mails at significantly lower prices than is the case with direct mail. In this case, the emphasis should be on the personalization of messages, that is, on adapting web pages to different client requirements. Finally, enhancing and expanding the depth and breadth of customer relationships is based on additional information delivered to customers as needed [10].

4. THE INFLUENCE OF THE INTERNET ON CONSUMER BEHAVIOR

The importance of the Internet in the 21st century is immeasurable. However, fundamentally, the Internet has provided three important benefits for today's consumers, namely: 1) consumer empowerment, 2) better communication with consumers, and 3) providing a large amount of information and data about consumer behavior in the Internet environment. When we talk about consumer empowerment, we mean that the Internet has made consumers much more interested in online products and services. At the same time, the Internet has enabled employers to reach their target audience more easily and quickly by establishing an interactive relationship with them. In addition, communication on the Internet is available 24/7, from any part of the world, but the only prerequisite that must be met is the existence of an Internet connection. And finally, the abundance of data makes it possible to monitor the effectiveness of ads. In other words, it is possible to measure clicks, visits, views and the like [11]. The following graph confirms that the number of Internet users in the Republic of Serbia is constantly growing.

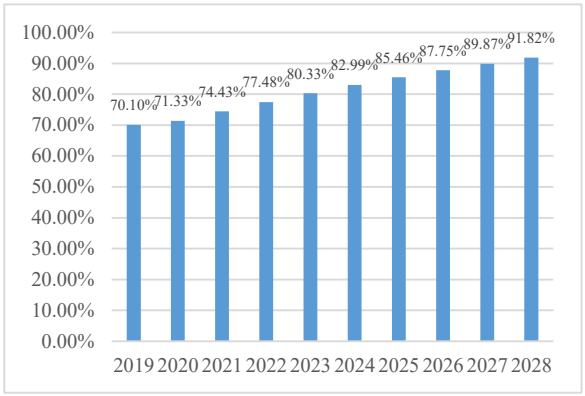


Figure 2. *Number of Internet users in the Republic of Serbia for the period from 2019 to 2022, with projections until 2028*

The growing number of Internet users has also contributed to the expansion of various digital tools and practices that significantly influence consumer decision-making and purchasing behavior in the online environment. The most important of these elements include:

- The quality of the website - enables more efficient and effective communication, at any time, in any place;
- Social media – Facebook, Instagram, TikTok, Twitter, Youtube and similar;
- Search engine optimization (SEO) - enables the ranking of the company on different search engines, which results in more popularity and more visits to the website;
- E-mail marketing - enables personalization of messages, low business costs, ease of design and delivery;
- Engaging content - enables an increase in the engagement rate;
- Mobile friendly content – every mobile device must support the content.
- Lower prices (more frequent actions in the Internet environment);
- Greater number of alternatives;

- Ability to compare prices;
- Shopping from any part of the world;
- Receiving notifications about the purchase at the same moment;
- Participation in virtual auctions.
- Possibility of false representation of the seller;
- Termination of contacts with the social environment for which traditional trade is suitable.

One of the most important factors affecting satisfaction with online shopping is the reliability of online shopping. Reliability refers to the provision of accurate, timely and complete information aimed at satisfying various consumer needs and interests [12]. In addition to reliability, quality and safety are also important factors for satisfaction with online shopping, which will be discussed in more detail in future.

5. CONCLUSION

Satisfied consumers make a company successful, and this is exactly what was proven in this paper. Consumer satisfaction is explained as a metric measuring the level of satisfaction with a particular product/service or brand. The way in which the degree of satisfaction is calculated is largely determined by the company's goal and the specifics of the given situation. However, the most common method for measuring the degree of satisfaction is a survey questionnaire, which was used in this paper. In short, consumer satisfaction can be presented as a direct reflection of how a person feels when communicating with a brand/employer, but not necessarily at the moment of purchase, and whose measurement is important because it further strengthens the image and reputation, increases profits and achieves a competitive advantage.

The paper also showed that consumer satisfaction is closely related to their loyalty, because when a consumer is satisfied, they are more likely to make a repeat purchase. But in order to create customer loyalty, a company must create an experience that inspires customers to return again and again. Essentially, loyal customers are those who: repeat purchases, do not pay attention to competitors, send feedback on how they could improve their business, and the like. The four most common types of loyalty programs stand out: bigger discounts, gift, collected points and customized offer and communication, which were discussed in more detail in the paper itself. He put the emphasis on the loyalty program and the satisfaction of consumers with the online purchase of their products. In the paper where a self-survey was conducted, it can be seen that the respondents were generally satisfied with the online shopping of fashion products of the Monet brand.

REFERENCES

[1] Nikolić, M., Đurić, D., Mitić, S.(2024): Strategijski menadžment, Univerzitet u Novom Sadu Tehnički fakultet“Mihajlo Pupin“, Zrenjanin

[2] Tabelessy, W., Sitaniapessy, R., Lekatompessy, D. (2023). Establishing Customer Satisfaction to Increase Customer Loyalty in Collin Beach Hotel. Indonesian Journal of Contemporary Multidisciplinary Research (MODERN), 2(2): 165-176.

[3] Tomašević, D. & Gašević, D. (2018). Analiza elemenata kvaliteta usluga mobilne telefonije u Republici Srbiji. Škola biznisa, 1(18): 73-85.

[4] Jovanović, M., Mišnić, N., Pejović, B. & Mijušković, M. (2023). Customer Satisfaction and Switching Intentions of Banking Services End-Users in Montenegro. Journal of Central Banking Theory and Practice, 1(12): 45-56.

[5] Irshad, M., Hussain, M., Fahim, S. & Ghias, S. (2022). Factors Affecting Customer Satisfaction: A Case Study of Food Panda. Reviews of Management Sciences, 4(1): 63-82.

[6] Ahmad, A., Muregesu, Y., Masri, R., Shamsudin, M. & Yazid, M. (2023). Does Customer Perceived Value Sway Customer Satisfaction and Post Purchase Intentions? Evidence from Online Shopping in Malaysia. Internetional Jouranl of Economics, Business and Inovation Research, 2(1): 1-16.

[7] Masuhyri, M. (2022). Key Drivers of Customer Satisfaction on the E-Commerce Business. East Asian Journal of Multidisciplinary Research (EAJMR), 1(3): 657-670.

[8] Gunawan, I. (2022). Customer Loyality: The Effect Customer Satisfaction, Experiential Marketing and Product Quality. Journal Manajemen Organisasi dan Industri. 1(1): 35-42.

[9] Zelenović, V. (2015). Marketing u bankarstvu. Drugo izmenjeno i dopunjeno izdanje. Subotica: Proleter a.d. Bečej.

[10] Lazić, Đ., Mešić, I. & Unkić, F. (2019). Upravljanje odnosima sa klijentima u e-poslovanju. Zenica: Univerzitet u Zenici, Ekonomski fakultet.

[11] Jackson, S. (2009). Cult of Analytics: Driving online marketing strategies using web analytics. USA: Elsevier.

[12] Grubor, A., & Jakša, O. (2018). Internet marketing as a business necessity Interdisciplinary. Description of Complex Systems. 16(2): 265-274.

[13] Živković, Z., Milosavljević, M. (2008). Prednosti i nedostaci elektronske trgovine. Kruševac: Fakultet za industrijski menadžment.

POREZ NA DIGITALNE USLUGE KAO NOVI IZVOR JAVNIH PRIHODA
DIGITAL SERVICES TAX AS A NEW SOURCE OF PUBLIC REVENUE

Tiana Anđelković

Sadržaj – Razvoj digitalne ekonomije nameće potrebu za reformom poreskih sistema i pravičnim oporezivanjem velikih digitalnih kompanija. Tradicionalni modeli, zasnovani na fizičkom prisustvu, gube na efikasnosti, pa mnoge države uvode porez na digitalne usluge (Digital Services Tax – DST) kao novi izvor javnih prihoda. Rad analizira ulogu i fiskalne efekte DST-a kroz uporednu praksu zemalja koje su ga uvele, kao i mogućnosti primene u Srbiji i regionu Zapadnog Balkana. Sprovedena analiza pokazala je da DST predstavlja nov, ali još uvek nedovoljno razvijen instrument fiskalne politike čiji efekti zavise od ekonomske i tehnološke razvijenosti zemalja. Istraživanje je potvrdilo da nema statistički značajnih razlika u nivou javnih prihoda između zemalja sa i bez DST-a, dok razlike u indeksu digitalne spremnosti ukazuju na neusklađenost između fiskalnih i digitalnih kapaciteta. Zaključuje se da dalji razvoj DST-a treba usmeriti ka jačanju digitalne infrastrukture i međunarodnoj saradnji radi stvaranja stabilnog i pravičnog izvora javnih prihoda u digitalnom dobu.

Ključne reči: porez na digitalne usluge, DST, javni prihodi, indeks digitalne spremnosti, NRI.

Abstract – The development of the digital economy has created a need to reform tax systems and ensure fair taxation of large digital corporations. Traditional models based on physical presence are becoming less effective, prompting many countries to introduce the Digital Services Tax (DST) as a new source of public revenue. This paper analyzes the role and fiscal effects of DST through a comparative overview of countries that have implemented it, as well as the potential for its adoption in Serbia and the Western Balkans region. The conducted analysis shows that DST is a new but still insufficiently developed instrument of fiscal policy, whose effects depend on the economic and technological advancement of each country. The research confirmed that there are no statistically significant differences in public revenue levels between countries with and without DST, while variations in digital readiness indicate a lack of alignment between fiscal and digital capacities. It is concluded that the further development of DST should focus on strengthening digital infrastructure and international cooperation to establish a stable and fair source of public revenue in the digital era.

Keywords: digital services tax, DST, public revenue, network readiness index, NRI.

1. UVOD

U digitalnoj ekonomiji, mnoge platforme ostvaruju značajne prihode kroz usluge koje se pružaju isključivo onlajn, bez fizičkog prisustva. Takvi prihodi, naročito oni međunarodni, često nisu adekvatno regulisani u poreskim sistemima mnogih država, što dovodi do značajnih gubitaka javnih prihoda. To je naročito izraženo kada digitalne kompanije posluju u zemlji samo preko korisničke baze, a ne preko registracije ili fizičke infrastrukture.

Rešavanje ovog izazova postalo je politički prioritet u EU, pa je Evropska komisija u martu 2018. predstavila predlog direktive o zajedničkom porezu na digitalne usluge (Digital Service Taxes - DST), sa stopom od 3% na određene digitalne prihode, posebno na prihode od onlajn oglašavanja i digitalnih platformi [1]. Evropski parlament je u decembru 2018. usvojio izveštaj kojim je podržan takav jedinstveni pristup, uz dodatno uključivanje digitalne distribucije sadržaja i sniženje željenog EU praga za poresku obavezu na 40 miliona eura prihoda unutar Evropske unije [2].

Međutim, uprkos političkoj podršci, Evropska unija nije uspela da usvoji jedinstveni DST u okviru Saveta država članica, jer su postojale prakse neslaganja i zabrinutosti zbog zloupotrebe principa supsidijarnosti i fragmentacije unutrašnjeg tržišta [3]. Istovremeno, u OECD okviru radilo se

na međunarodnom rešenju kroz inicijativu Pillar One, koja je trebalo da omogući državama da oporezuju multinacionalne kompanije na osnovu prihoda ostvarenih na tržištima, a ne gde su formalno registrovane.

Predviđeno je da bi DST bio prelazno rešenje dok se međunarodni dogovor ne implementira. Nakon dogovora (koji je planiran za 2021–2023), zemlje bi ukinule nacionalne DST regulative i usaglasile se sa globalnim pravilima

Porez na digitalne usluge tako je zamišljen kao prelazno rešenje dok se ne postigne globalni dogovor. Međutim, prolongiranje rokova u pregovorima, kao i neujednačeni nacionalni pristupi, doveli su do situacije da brojne države i dalje samostalno uvode DST, pri čemu se razlikuju osnovica, obuhvat i poreske stope. Time se dodatno komplikuje međunarodno poslovanje digitalnih kompanija i povećava rizik od dvostrukog oporezivanja.

S obzirom na to da zemlje Zapadnog Balkana, uključujući Srbiju, još uvek nisu uvele DST, nameće se pitanje potencijala i rizika uvođenja ovog poreza u njihovim poreskim sistemima. Ovaj rad ima za cilj da kroz komparativnu analizu sagleda ulogu DST-a kao novog izvora javnih prihoda, da identifikuje dobre prakse i ukaže na specifične izazove za zemlje regiona.

Tiana Anđelković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17500 Vranje (imejl: tiana.andjelkovic@akademijanis.edu.rs).

2. TEORIJSKI OKVIR

Razvoj digitalne ekonomije ne samo da transformiše načine pružanja i konzumiranja usluga, već i preispituje tradicionalne teorije vrednosti i poreske politike. U svojim fundamentalnim delima, poput *The Wealth of Nations*, Adam Smith je formulisao osnovne principe oporezivanja: proporcionalnost, transparentnost, praktičnost i efikasnost, principe koji ostaju relevantni čak i u digitalnoj eri [4]. Međutim, digitalna transformacija ekonomije postavljenjem digitalne tehnologije u centar stvaranja vrednosti zahteva redefinisanje ovih principa, naročito kada digitalne usluge prelaze granice fizičkog prisustva i prodiru u sfere gde su tradicionalni mehanizmi prikupljanja poreza neefikasni.

Teorijski doprinosi iz dostupnih studija obogaćuju ovaj okvir. Tako Benkler u delu *The Wealth of Networks* ističe kako digitalna mreža transformiše tržište kroz društvenu produkciju i kolaborativne modele, što izgrađuje novu vrstu vrednosti koju nije lako označiti kroz fizičko prisustvo [5]. Slično tome, McCarthy u knjizi *Online Gravity* analizira kako digitalni gigant-entiteti dominiraju tržištem zbog svoje "gravitacije" – reč je o modelu koji sugeriše da je ekonomija digitalnih veličina po svojoj strukturi fundamentalno drugačija od one u fizičkom svetu [6].

Na kraju, treba pomenuti i rad *Automation and Taxation*, koji istražuje kako automatizacija i informaciono-komunikacione tehnologije menjaju strukturu poreskih prihoda u EU, prelaskom sa kapitala na rad i potrošnju, a potencijalno i destabilizuju tradicionalne izvore javnog prihoda, što je dodatni kanal za razumevanje fiskalnih implikacija digitalizacije [7].

3. POREZ NA DIGITALNE USLUGE (DST)

Porez na digitalne usluge (Digital Services Tax – DST) predstavlja relativno nov oblik oporezivanja koji je uveden kao odgovor na izazove koje digitalna ekonomija postavlja pred savremene poreske sisteme. Za razliku od tradicionalnog poreza na dobit, koji se obračunava na osnovu neto profita kompanije i povezan je sa konceptom stalne poslovne jedinice, DST je najčešće koncipiran kao porez na bruto prihode ostvarene od određenih digitalnih aktivnosti, bez obzira na to da li kompanija ima fizičko prisustvo u zemlji oporezivanja [1]. Time se želi obezbediti da multinacionalne digitalne kompanije, koje ostvaruju znatne profite iz korisničke baze u određenoj zemlji, doprinesu javnim prihodima te zemlje čak i ako su formalno registrovane u drugoj jurisdikciji.

Predmet oporezivanja varira od zemlje do zemlje, ali se najčešće obuhvataju prihodi od onlajn oglašavanja, pružanja usluga digitalnih platformi koje povezuju korisnike (npr. tržišta za e-trgovinu, platforme za rezervacije), prodaje korisničkih podataka i digitalne distribucije sadržaja [2]. Na primer, Francuska primenjuje stopu od 3% na bruto prihode od digitalnog oglašavanja i posredničkih platformi, dok Italija uvodi istu stopu, ali sa dodatnim pragovima prihoda od najmanje 750 miliona evra globalno i 5,5 miliona evra iz domaćih izvora [8].

Sa teorijskog stanovišta, DST se može posmatrati kao oblik indirektnog oporezivanja specifične potrošnje, iako je tehnički usmeren na prihode preduzeća. Richter [9] ističe da je njegova osnovna fiskalna prednost u tome što omogućava relativno stabilan priliv prihoda čak i u situacijama kada digitalne kompanije vešto optimizuju poreze na dobit putem transfernih cena i poreskih rajeva. Međutim, ovaj pristup ima i kritičare koji upozoravaju da porez na bruto prihode može biti regresivan u odnosu na profitabilnost, odnosno da nerazlikovanje profitabilnih i manje profitabilnih poslovnih modela može dovesti do prekomernog oporezivanja određenih firmi i poskupljenja usluga za krajnje korisnike [10].

Ekonomski cilj DST-a prvenstveno je da obezbedi pravedniju raspodelu poreskih prihoda među državama, u skladu sa mestom gde se vrednost stvara, a ne samo gde je registrovano sedište kompanije. Ovo je u skladu sa OECD/G20 inicijativom Pillar One, koja nastoji da redizajnira međunarodni poreski okvir tako da deo profita najvećih multinacionalnih kompanija bude preraspodeljen tržištima na kojima ostvaruju prihode. Fiskalno posmatrano, DST je atraktivan za države jer omogućava brzo uvođenje i relativno jednostavnu administraciju u poređenju sa reformama poreza na dobit, a kratkoročno može generisati značajne prihode — što je bio slučaj u Francuskoj, koja je već u prvoj godini primene prikupila preko 350 miliona evra [11,12].

Ipak, brojni autori upozoravaju da DST nije dugoročno održivo rešenje. Prema nalazima IMF-a, postojanje različitih nacionalnih DST-a povećava rizik dvostrukog oporezivanja, što može izazvati trgovinske sporove, kao što se desilo između SAD i Francuske 2019. godine [13]. Benkler [5] sa teorijske strane dodaje da digitalne mreže, zbog svoje decentralizovane prirode, zahtevaju globalno usklađene poreske pristupe, jer unilateralne mere mogu ograničiti inovacije i pristup tržištima. Slično, Chen predlaže da se razmotri i oporezivanje vrednosti podataka kao dopuna DST-u, što bi preciznije odražavalo izvore digitalne vrednosti i smanjilo oslanjanje na bruto prihod kao osnovicu [14].

U celini, DST predstavlja prelazno rešenje u očekivanju implementacije globalnog sporazuma koji bi harmonizovao pravila i smanjio tenzije među državama. Njegova uspešnost zavisi od jasnog definisanja poreske osnovice, praga prihoda, međunarodne koordinacije i izbegavanja prevelikog administrativnog opterećenja, naročito za manje subjekte. Za zemlje koje još nisu uvele DST, poput Srbije, ključno je sagledati fiskalne potencijale, ali i moguće negativne efekte po konkurentnost i investicionu klimu pre donošenja odluke o njegovoj implementaciji.

4. EMPIRIJSKA ANALIZA EFEKATA POREZA NA DIGITALNE USLUGE

Dosadašnja teorijska analiza pokazala je značajne razlike u pristupu oporezivanja digitalnih usluga među državama. Ipak, da bi se procenio stvarni fiskalni značaj poreza na digitalne usluge (DST), neophodno je sprovesti empirijsko istraživanje koje kvantitativno ispituje efekte uvođenja DST-a na javne prihode i ali i spremnost zemalja za uvođenje novog poreskog oblika ovog tipa.

U cilju provere fiskalnih efekata, postavljene su dve istraživačke hipoteze:

- **H1:** Zemlje koje nisu uvele DST ostvaruju uporedive nivoe poreskih prihoda (% BDP-a) kao i zemlje koje su uvele DST, što ukazuje da se fiskalni efekti digitalnih usluga delimično ostvaruju kroz druge oblike oporezivanja (npr. PDV na digitalne usluge).
- **H2:** Zemlje koje su uvele porez na digitalne usluge imaju različite vrednosti indeksa digitalne spremnosti (Network Readiness Index [NRI]) u odnosu na zemlje koje nisu uvele DST, što sugeriše da uvođenje DST nije uvek bilo usklađeno sa stepenom digitalne spremnosti.

Empirijska analiza zasnovana je na uporednom kvantitativnom pristupu. Posmatrane su dve grupe zemalja: zemlje koje su uvele DST (Francuska, Italija, Španija, Turska i Indija) i zemlje koje nisu uvele DST (Srbija, Hrvatska, Slovenija, Bosna i Hercegovina i Severna Makedonija). Podaci o ukupnim javnim prihodima (izraženim kao % BDP-a) i podaci o indeksu digitalne spremnosti su korišćeni u dokazivanju datih hipoteza. U daljem radu primenjene su neparametarske metode zbog malog uzorka, i nepostojanja normalnosti raspodele uzorka za sve posmatrane varijable: Mann Whitney U test - za identifikaciju statistički značajnih razlika u prosečnim vrednostima javnih prihoda između zemalja koje su uvele DST i onih zemalja koje to nisu (H1) i ponovo Mann Whitney U test za utvrđivanje digitalne spremnosti zemalja koje su uvele DST (H2).

Najpre je urađena analiza normalnosti raspodele posmatranog uzorka. Za svaku pomenutu zemlju uzeto je 5 vrednosti Tax Revnue (% of GDP) sa sajta Svetske banke [15] i uzeti su podaci iz izveštaja Portulans Instituta za indeks digitalne spremnosti [16-20]. Tako je za posmatranih deset zemalja (5 koje su uvele DST i 5 koje nisu uvele DST) uzorak bio 50 zemalja zbog petogodišnjeg posmatranog perioda (jedan period – jedna vrednost). Međutim, na sajtu Svetske banke za Indiju nisu dostupni podaci za 2019-2021. i 2023. godinu, dok za Srbiju nije dostupan podatak za 2023. godinu, tako da ukupan uzorak iznosi 45 vrednosti. Zbog dve grupe podataka i ukupnog uzorka od 45 zemalja, u obzir su uzeti rezultati Shapiro Wilk testa normalnosti. Isti je pokazao da postoji normalan raspored uzorka za varijablu ukupni javni prihodi u bruto domaćem proizvodu, za zemlje koje nisu uvele DST (Sig=0,884>0,05). Takođe, normalan raspored postoji i kod indeksa digitalne spremnosti (Network Readiness Indeks - [NRI]), i to za obe grupe zemalja ($Sig_{nemaDST}$=0,237>0,05; Sig_{imaDST}=0,134>0,05). Međutim, normalan raspored ne postoji kod ukupnih javnih prihoda kod zemalja koje su već uvele DST (Sig=0,004<0,05), pa stoga će u daljoj analizi biti korišćeni neparametarski testovi.

Rezultati Mann-Whitney U testa (Mann Whitney U =251,500; Z = -0,011, Sig=0,991>0,05) su **upravo dokazali prvu hipotezu – uprkos uvođenju DST-a u navedenim zemljama, ne postoji statistički značajna razlika između tih zemalja i zemalja koje su isti uvele**, s obzirom na to da se makar delimično digitalne usluge u posmatranim zemljama oporezuju kroz druge poreske oblike. S obzirom na to, nema značajnih razlika u poreskim prihodima između zemalja koje su DST uvele i onih zemalja koje nisu uvele DST.

Tabela I *Test normalnosti*

Tests of Normality

	TIP	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
TaxRevnuePerc	NEMA DST	.102	24	.200*	.979	24	.884
	IMA DST	.224	21	.007	.850	21	.004
NRI	NEMA DST	.105	24	.200*	.947	24	.237
	IMA DST	.130	21	.200*	.929	21	.134

a. Lilliefors Significance Correction
*. This is a lower bound of the true significance.

Tabela II *Mann Whitney U test (hipoteza 1)*

Test Statistics[a]

	TaxRevnue Perc
Mann-Whitney U	251.500
Wilcoxon W	551.500
Z	-.011
Asymp. Sig. (2-tailed)	.991

a. Grouping Variable: TIP

Druga hipoteza ispitivala je da li zemlje koje su uvele porez na digitalne usluge (DST) imaju različite vrednosti indeksa digitalne spremnosti (NRI) u odnosu na zemlje koje nisu uvele DST, sa ciljem da se proceni usklađenost implementacije DST sa stepenom digitalne spremnosti. Rezultati Mann-Whitney U testa pokazali su statistički značajnu razliku između grupa (Mann Whitney U = 169, Z = -2.784, p = 0.005). Analiza pokazuje da zemlje sa DST imaju niže NRI u poređenju sa zemljama koje nisu uvele DST.

Ovi rezultati potvrđuju hipotezu H2 i sugerišu da uvođenje DST nije uvek bilo u skladu sa stepenom digitalne spremnosti pojedinih zemalja, odnosno da su neke zemlje implementirale porez pre nego što su bile u potpunosti pripremljene za digitalnu transformaciju.

Tabela III *Mann Whitney U test (hipoteza 2)*

Test Statistics[a]

	NRI
Mann-Whitney U	169.000
Wilcoxon W	494.000
Z	-2.784
Asymp. Sig. (2-tailed)	.005

a. Grouping Variable: TIP

4. DISKUSIJA

Rezultati sprovedene empirijske analize ukazuju na to da uvođenje poreza na digitalne usluge (DST) ne donosi značajne razlike u ukupnim javnim prihodima država, ali da postoji povezanost između uvođenja ovog poreza i stepena digitalne spremnosti zemalja.

Prva hipoteza (H1) je potvrđena – utvrđeno je da ne postoji statistički značajna razlika u visini javnih prihoda izraženih procentom BDP-a između zemalja koje su uvele DST i onih koje ga nisu uvele. Ovakav nalaz sugeriše da DST još uvek nema vidljiv fiskalni efekat što se može objasniti činjenicom da mnoge zemlje bez DST-a već ostvaruju prihod od digitalnih aktivnosti kroz postojeće poreske mehanizme, poput PDV-a ili poreza na dobit digitalnih kompanija. Takođe, u državama koje su DST uvele, efekti su ograničeni niskim stopama i uskim obuhvatom poreza.

Druga hipoteza (H2) je pokazala postojanje statistički značajne razlike u indeksu digitalne spremnosti (NRI), pri čemu zemlje koje su uvele DST imaju niži nivo digitalne spremnosti od onih koje ga nisu uvele. Ovaj rezultat ukazuje da uvođenje DST-a nije uvek bilo zasnovano na ekonomskim i tehnološkim kapacitetima zemalja, već više na fiskalnoj potrebi da se poveća prihod i uvede poreska ravnoteža u digitalnoj ekonomiji. Time se potvrđuje da je u pojedinim državama DST implementiran pre nego što su postignuti optimalni uslovi za njegovu primenu.

Na kraju, rezultati ukazuju da je DST još uvek u fazi razvoja kao instrument fiskalne politike i da njegova efikasnost zavisi od širine poreske baze, institucionalne spremnosti i nivoa digitalne transformacije svake zemlje.

5. ZAKLJUČAK

Sprovedena analiza pokazala je da porez na digitalne usluge predstavlja nov i još uvek nedovoljno razvijen instrument fiskalne politike čiji efekti na javne prihode i digitalnu spremnost država variraju u zavisnosti od stepena njihove ekonomske i tehnološke razvijenosti. Rezultati istraživanja potvrdili su da ne postoje statistički značajne razlike u nivou javnih prihoda između zemalja koje su uvele DST i onih koje ga nisu uvele, što ukazuje da fiskalni efekti digitalnih aktivnosti većim delom bivaju obuhvaćeni postojećim poreskim oblicima, poput PDV-a. Značajna razlika u indeksu digitalne spremnosti pokazuje i da uvođenje DST-a nije uvek usklađeno sa digitalnim kapacitetima zemalja, te da je u nekim slučajevima pre bilo rezultat fiskalnih potreba nego strateškog planiranja digitalne politike.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je dalji razvoj DST-a potrebno usmeriti ka usklađivanju fiskalnih i tehnoloških aspekata digitalne ekonomije. Zemlje koje razmatraju uvođenje ovog poreza trebalo bi da obezbede adekvatnu digitalnu infrastrukturu, kapacitete za praćenje oporezivih digitalnih aktivnosti i međunarodnu saradnju u cilju izbegavanja dvostrukog oporezivanja. Time bi se obezbedilo da DST postane stabilan, pravičan i održiv izvor javnih prihoda u digitalnom dobu.

LITERATURA

[1] OECD Publishing, „Digitalisation Challenges and Opportunities for Subnational Goverments“ OECD Working Papers on Fiscal Federalism. April 2020. No. 31. Dostupno na: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2020/04/digitalisation-challenges-and-opportunities-for-subnational-governments_7a15d209/9582594a-en.pdf

[2] European Commission, „Proposal for a Council Directive on the common system of a digital services tax on revenues resulting from the provision of certain digital services“. Dostupno na: https://taxation-customs.ec.europa.eu/system/files/2018-03/proposal_common_system_digital_services_tax_21032018_en.pdf

[3] European Parliament, „MEPs agree on new rules to tax digital companies“

[4] A. Smith, „An inquiry into the nature and causes of THE WEALTH OF NATIONS“ An electronic Classics Series Publication. Dostupno na: https://www.rrojasdatabank.info/Wealth-Nations.pdf

[5] Y. Benkler, „The Wealth of Networks: How Social Production Transforms Markets and Freedom“ Yale University Press. New Haven and London.

[6] P. X. McCarthy, „Online gravity: The Unseen Force Driving the Way You Live, Earn and Learn“, Simon and Schuster

[7] K. Hötte, A. Theodorakopoulos, P. Koutroumpis, „Automation and taxation“, Oxford Economic Papers, Volume 76, Iss. 4, October 2024, pp. 945–969.

[8] D. Bunn, E. Asen, E., „Digital Service Taxes in Europe“, 2022. Tax Foundation Europe. Dostupno na: https://taxfoundation.org/data/all/eu/digital-tax-europe-2022/

[9] W. F. Richter, „The Economics of the Digital Services Tax“, CESifo Working Paper, No. 7863, Center for Economic Studies and ifo Institute (CESifo), Munich. Dostupno na: https://hdl.handle.net/10419/207254

[10] F. Y. Mpofu, „Taxation of the Digital Economy and Direct Digital Service Taxes: Opportunities, Challenges, and Implications for African Countries. Economies“. Vol 10. Iss. 9.

[11] D. Bunn, „France’s Digital Services Tax: Facts and Analysis“. Tax Foundation Europe. Dostupno na: https://taxfoundation.org/blog/france-digital-services-tax/

[12] Deloitte, „The French Digital Service Tax: An Economic Impact Assessment“. Dostupno na: https://blog.avocats.deloitte.fr/content/uploads/2020/03/dst-impact-assessment-march-2019.pdf

[13] R. Christie, „Taxing Tech. International Monetary Fund“. Finance and Development Magazine. March 2021. Dostupno na:https://www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/2021/03/taxing-big-tech-and-the-future-of-digital-services-tax-christie

[14] C. Chen, „Taxation of Digital Goods and Services“. New York University School of Law. Dostupno na: https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5185687

[15] World Bank Group. Dostupno na: https://data.worldbank.org/indicator/GC.TAX.TOTL.GD.ZS

[16] Portulans Institute, „The Network Readiness Index 2019: Towards a Future-Ready Society“, Dostupno na: https://www.insead.edu/sites/default/files/assets/dept/globalindices/docs/nri-2019.pdf

[17] Portulans Institute, „The network readiness index 2020: Accelerating Digital Transformation in a post-COVID Global Economy“, Dostupno na: https://download.networkreadinessindex.org/reports/data/2020/nri-2020.pdf

[18] Portulans Institute, „The Network Readiness Index 2021: Shaping the Global Recovery - How digital technologies can make the post-COVID world more equal“, Dostupno na: https://download.networkreadinessindex.org/reports/data/2021/nri-2021.pdf

[19] Portulans Institute, „The Network Readiness Index 2022: Stepping into the new digital era How and why digital natives will change the world.“ Dostupno na: https://download.networkreadinessindex.org/reports/data/2022/nri-2022.pdf

[20] Portulans Institute, “The Network Readiness Index 2023: Trust in a Network Society: A crisis of the digital age?” Dostupno na: https://download.networkreadinessindex.org/reports/data/2023/nri-2023.pdf

DIGITALNA EKONOMIJA KAO POKRETAČ INOVACIJA I RASTA SA POSEBNIM OSVRTOM NA PREDUZETNIŠTVO U SRBIJI

DIGITAL ECONOMY AS A DRIVER OF INNOVATION AND GROWTH WITH A SPECIAL FOCUS ON ENTREPRENEURSHIP IN SERBIA

Ljiljana Stošić Mihajlović i Marija Mihajlović

Sadržaj – Ubrzana digitalizacija i razvoj savremenih tehnologija menjaju globalne ekonomske tokove i otvaraju nove mogućnosti, ali i izazove za razvoj preduzetništva, naročito u zemljama u razvoju poput Srbije. Glavni problem rada ogleda se u nedostatku integrisanog pristupa razvoju digitalnog preduzetništva, usled čega potencijali digitalne ekonomije nisu u potpunosti iskorišćeni. Cilj istraživanja je da identifikuje ključne prepreke i prilike za ubrzani razvoj digitalnog preduzetništva i da predloži mere unapređenja institucionalnih i razvojnih politika. Metodološki okvir zasniva se na analizi literature, studijama slučaja i komparativnoj analizi institucionalnih strategija Srbije i regiona. Rezultati ukazuju na to da digitalna ekonomija može postati ključni pokretač inovacija i rasta ukoliko se unapredi digitalna infrastruktura, obrazovanje i institucionalna podrška. Poseban akcenat stavljen je na upotrebu tehnologija kao što su cloud computing, veštačka inteligencija i blockchain u razvoju inovativnih poslovnih modela. Zaključak rada ističe da je uspešna digitalna transformacija moguća samo kroz koordinisani pristup države, obrazovnih institucija i privatnog sektora, što omogućava održiv rast i jačanje konkurentnosti

Ključne reči: Digitalna ekonomija, digitalno preduzetništvo, inovacije, Srbija, digitalna infrastruktura.

Abstract – Accelerated digitization and the development of modern technologies are changing global economic flows and opening up new opportunities, but also challenges for the development of entrepreneurship, especially in developing countries like Serbia. The main problem of the work is reflected in the lack of an integrated approach to the development of digital entrepreneurship, as a result of which the potentials of the digital economy are not fully utilized. The goal of the research is to identify key obstacles and opportunities for the accelerated development of digital entrepreneurship and to propose measures to improve institutional and development policies. The methodological framework is based on literature analysis, case studies and comparative analysis of institutional strategies in Serbia and the region. The results indicate that the digital economy can become a key driver of innovation and growth if digital infrastructure, education and institutional support are improved. Special emphasis is placed on the use of technologies such as cloud computing, artificial intelligence and block-chain in the development of innovative business models. The conclusion of the paper points out that a successful digital transformation is possible only through a coordinated approach of the state, educational institutions and the private sector, which enables sustainable growth and strengthening competitiveness.

Keywords: Digital economy, digital entrepreneurship, innovation, Serbia, digital infrastructure.

1. UVOD

Digitalna ekonomija postaje ključna pokretačka sila savremenog razvoja i transformacije tržišta rada, proizvodnje i usluga. Prema izveštaju Svetske banke [1] digitalizacija je direktno doprinela rastu BDP-a u preko 70% ekonomija koje su uvele sistemske digitalne politike i reforme. Ova činjenica pokazuje da digitalna transformacija nije samo tehnološki, već i razvojni proces koji utiče na konkurentnost i društvenu inkluziju. U Srbiji, kao i u većini tranzicionih ekonomija, digitalna transformacija preduzetništva odvija se sporo, često fragmentarno i bez jasne institucionalne koordinacije [2]. To znači da uprkos prisutnim inicijativama i strategijama, postoji jaz između strateških dokumenata i njihove implementacije u praksi. Nedostatak povezanosti među akterima, vladinim institucijama, univerzitetima i privatnim sektorom, predstavlja ključni problem razvoja digitalnog ekosistema.

Digitalna ekonomija, prema Tapscottu, „prestavlja novu ekonomsku realnost u kojoj informacija, inovacija i povezivanje čine osnovu stvaranja vrednosti“ [3]. Ova definicija naglašava prelazak sa tradicionalne proizvodnje na znanjem zasnovanu ekonomiju, gde se prednost postiže inovacijama i digitalnim rešenjima. U tom kontekstu, digitalno preduzetništvo postaje ne samo sredstvo za zapošljavanje, već i za diversifikaciju privrede i stvaranje otpornijih ekonomskih struktura [4]. Dakle, razvoj digitalnog preduzetništva ima dvostruku funkciju, podsticanje inovacija i jačanje otpornosti nacionalne ekonomije.

Motivacija istraživanja proizilazi iz potrebe da se prepoznaju ključni faktori koji uslovljavaju razvoj digitalnog preduzetništva, kao i da se ukaže na mogućnosti za unapređenje javnih politika i institucionalne podrške [5]. Ova motivacija je posebno značajna u kontekstu Srbije, gde je digitalna transformacija prepoznata kao prioritet u Strategiji pametne specijalizacije, ali bez dovoljne implementacije na lokalnom nivou.

Tabela 1. sumira četiri osnovna stuba na kojima počiva razvoj digitalne ekonomije. Digitalna infrastruktura obezbeđuje tehničku osnovu za povezivanje i inovacije, jer bez adekvatnog pristupa internetu i digitalnim servisima nije moguće razvijati digitalne usluge ili startape.

Ljiljana Stošić Mihajlović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: ljiljana.stosic.mihajlovic@akademijanis.edu.rs)

Marija Mihajlović, Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture R. Srbije, Nemanjina 22-26, Beograd (imejl: marija.mihajlovic@mgsi.gov.rs).

Digitalne veštine predstavljaju ljudski kapital nove ekonomije, jer upravo znanje i kompetencije omogućavaju konverziju tehnologije u tržišnu vrednost. Institucionalna podrška se odnosi na sistem podsticaja, regulatornih okvira i strategija koje stvaraju povoljno okruženje za digitalno poslovanje, dok pristup kapitalu definiše finansijske mogućnosti za inovacije, istraživanje i skaliranje poslovnih modela.

Tabela I *Glavne komponenete digitalne ekonomije*

Komponenta	Opis	Uticaj na rast
Digitalna infrastruktura	Brzi internet, cloud sistemi, 5G mreže	Osnova za razvoj inovacija
Digitalne veštine	IT i preduzetničke kompetencije	Povećava zapošljivost i inovacije
Institucionalna podrška	Javne politike, podsticaji, regulativa	Ubrzava razvoj startapa
Pristup kapitalu	Investicioni fondovi, krediti, subvencije	Omogućava skalabilnost poslovanja

Zajedno, ovi elementi čine integrisan okvir za procenu zrelosti digitalne ekonomije jedne zemlje. U kontekstu Srbije, slabosti se najviše uočavaju u segmentima institucionalne podrške i kapitalne dostupnosti, dok su digitalne veštine i IT infrastruktura u porastu zahvaljujući rastu domaćeg IT sektora.

2. TEORIJSKI OKVIR

Digitalna ekonomija predstavlja jedan od najvažnijih pokretača transformacije savremenih privreda. Prema Tapscottu (2015), digitalna ekonomija „predstavlja novu ekonomsku paradigmu u kojoj digitalne mreže i informacione tehnologije postaju ključni resurs u stvaranju vrednosti“. Ova definicija ukazuje da digitalizacija nije samo tehnološka promena, već i suštinska transformacija načina na koji se proizvodi, razmenjuje i meri ekonomska vrednost.

Digitalno preduzetništvo, prema Nambisanu [4], označava „proces kreiranja vrednosti kroz upotrebu digitalnih tehnologija u poslovnim modelima, proizvodima i uslugama“. Drugim rečima, digitalno preduzetništvo se razlikuje od tradicionalnog po tome što koristi digitalne platforme, softverska rešenja i podatke kao osnovne resurse inovacije, a ne fizičku imovinu. Ovakav oblik preduzetništva postaje dominantan oblik poslovanja u eri četvrte industrijske revolucije, u kojoj se prepliću digitalne, fizičke i biološke tehnologije. Digitalna ekonomija menja granice između sektora i stvara nove hibridne modele – npr. fintech, e-trgovinu, pametne gradove i digitalne servise u javnoj upravi.

OECD (2023) ističe da zemlje koje su razvile integrisane digitalne strategije ostvaruju prosečno 2,5 puta veći rast produktivnosti u sektorima digitalnih usluga u odnosu na zemlje koje takve politike nemaju. To potvrđuje važnost koordinisanog pristupa i pokazuje da digitalna transformacija mora biti strateški upravljana – ne može se razvijati spontano ili parcijalno. UNCTAD dodaje da digitalna ekonomija generiše oko 15,5% globalnog BDP-a i da njen udeo neprestano raste, naročito zahvaljujući rastu platformi i digitalnih tržišta [7]. Ovi podaci ukazuju na to da digitalizacija više nije „opcija“ već osnovni preduslov konkurentnosti – kako za razvijene, tako i za zemlje u razvoju.

Digitalna ekonomija zasniva se na dinamičnoj interakciji između digitalne infrastrukture, ljudskog kapitala, inovacija, digitalnog preduzetništva i regulatornog okvira. Infrastruktura omogućava povezanost i razmenu informacija, dok digitalne veštine predstavljaju osnovu za njihovu efikasnu upotrebu. Inovacije podstiču konkurentnost, a digitalno preduzetništvo transformiše tržište rada i strukturu poslovanja. Sve ove komponente funkcionišu unutar regulatornog i institucionalnog okvira koji definiše pravila digitalnog tržišta i osigurava sigurnost, transparentnost i održivost poslovanja.

3. ULOGA DIGITALNE TRANSFORMACIJE U SAVREMENOJ EKONOMIJI

Digitalna transformacija predstavlja ključni pokretač promena u globalnoj privredi, jer omogućava prelazak sa tradicionalnih modela poslovanja na digitalno orijentisane, inovativne i fleksibilne strukture. Prema OECD-u [8], digitalizacija generiše nove oblike konkurentnosti i utiče na produktivnost kroz automatizaciju, analitiku podataka i digitalne platforme. Ova tvrdnja ukazuje na suštinsku ulogu tehnologije kao faktora rasta koji redefiniše ekonomsku logiku poslovanja – produktivnost više ne zavisi samo od fizičkog kapitala, već i od digitalnih resursa i kompetencija.

Prema podacima Svetskog ekonomskog foruma [9], zemlje koje su uspešno implementirale digitalne politike uočavaju prosečan rast BDP-a od 2,5% godišnje više u odnosu na one koje kasne sa digitalnom transformacijom. Ovaj pokazatelj ilustruje direktnu korelaciju između stepena digitalizacije i makroekonomskog učinka, što naglašava strateški značaj digitalne ekonomije za zemlje u tranziciji. Tabela 2. prikazuje osnovne indikatore razvoja digitalne ekonomije u Srbiji u poređenju sa prosekom zemalja Centralne i Istočne Evrope (CIE).

Tabela II *Digitalna ekonomija u Srbija*

Pokazatelj	Srbija (2024)	Prosek CIE (2024)	Izvor
Učešće ICT sektora u BDP-u	6.3%	7.8%	[10]
Broj digitalnih startapova na 100.000 stanovnika	11	18	[11]
Udeo online trgovine u ukupnoj trgovini	12.5%	19.2%	[12]
Digitalna pismenost odraslog stanovništva	54%	69%	[11]
Ulaganja u digitalnu infrastrukturu (% BDP)	1.1%	2.4%	[7]

Podaci pokazuju da Srbija beleži konstantan rast u oblasti digitalne ekonomije, ali i dalje zaostaje za prosekom zemalja CIE. Najveći jaz primećuje se u pogledu digitalne pismenosti i ulaganja u infrastrukturu, što ukazuje na potrebu sistemske reforme obrazovanja i većeg javno-privatnog investiranja. Iako ICT sektor beleži stabilan rast, njegov doprinos ukupnom BDP-u još uvek ne dostiže nivoe digitalno razvijenih ekonomija. To potvrđuje da Srbija ima visok inovacioni potencijal, ali i ograničenja u institucionalnoj podršci i dostupnosti kapitala.

Prema Strategiji digitalnih veština za period 2023–2030 [11], prioriteti Vlade Srbije uključuju jačanje digitalnih kompetencija, razvoj digitalne infrastrukture i unapređenje regulatornog okvira za e-poslovanje. Ovaj strateški dokument potvrđuje da država prepoznaje važnost digitalne ekonomije kao okosnice rasta, ali da su institucionalni mehanizmi još u fazi razvoja i da je potrebna bolja koordinacija između sektora obrazovanja, privrede i javne uprave.

Evropska komisija [12], u svom izveštaju o digitalnom napretku Srbije navodi da su glavni izazovi nedovoljna interoperabilnost sistema javne uprave i neujednačena dostupnost digitalnih servisa na lokalnom nivou. To znači da, iako postoje dobre politike, implementacija nije ujednačena, naročito u manjim i ruralnim sredinama gde digitalna infrastruktura nije razvijena u meri koja omogućava digitalnu inkluziju svih građana.

4. DIGITALNO PREDUZETNIŠTVO I INOVACIJE

U poređenju sa zemljama u tranziciji koje su članice EU, Srbija pokazuje niže vrednosti u svim analiziranim kategorijama, što ukazuje na strukturne slabosti sistema podrške digitalnom preduzetništvu [13]. Izazovi razvoja digitalne ekonomije u Srbiji uključuju [14]:

- nedostatak obrazovanja za digitalne veštine,
- ograničen pristup rizičnom kapitalu,
- digitalni jaz između urbanih i ruralnih područja,
- i sporu institucionalnu prilagodljivost.

Tabela 3. prikazuje distribuciju digitalnih startapova u Srbiji prema sektorima delatnosti u 2024. godini.

Tabela III *Struktura digitalnih startapova po sektorima*

Sektor	Udeo (%)
FinTech	27
E-trgovina	22
Softverske usluge (B2B)	19
EduTech	14
HealthTech	9
Ostali	9

Analiza pokazuje da dominiraju FinTech i e-trgovina, što odražava globalne trendove digitalizacije finansijskih i maloprodajnih usluga. Manji udeo sektora kao što su EduTech i HealthTech ukazuje na to da inovacije u društveno značajnim oblastima tek počinju da se razvijaju. Ovo otvara mogućnost za javne politike koje bi kroz grantove i inkubatore podstakle diverzifikaciju startap ekosistema.

Tabela 4. prikazuje poređenje ključnih faktora razvoja digitalne ekonomije između Srbije i tri reprezentativne zemlje u tranziciji: Poljske, Rumunije i Hrvatske. Ipak, s obzirom na ubrzani rast ICT sektora i strateške prioritete vlade, očekuje se smanjenje jaza u narednih pet godina, posebno kroz investicije u obrazovanje i startap infrastrukturu.

Preporuke za unapređenje uključuju uspostavljanje nacionalne platforme za digitalno preduzetništvo, formiranje fonda za inovacije specijalizovanog za startapove, i jačanje partnerstva između univerziteta, industrije i države [15]. Ove mere bi omogućile ne samo povećanje konkurentnosti, već i stvaranje održivog digitalnog ekosistema.

Tabela IV *Komparativna analiza – Srbija i zemlje u tranziciji*

Faktor	Srbija	Rumunija	Hrvatska	Izvor
ICT ulaganja (% BDP)	1.1	2.1	2.3	Eurostat 2024
Digital. pismen. (%)	54	65	70	DESI, 2024
Broj startap / 100k stanovnika	11	17	19	Startup Genome 2024
Udeo e-trgovine (%)	12.5	16.4	18.9	UNCTAD 2023

5. DISKUSIJA REZULTATA

Rezultati sprovedene analize potvrđuju da digitalna ekonomija u Srbiji ima značajan potencijal za generisanje inovacija i podsticanje privrednog rasta, ali da su efekti tog procesa ograničeni brojnim strukturnim i institucionalnim barijerama. Srbija se nalazi u fazi ubrzane digitalne transformacije, pri čemu su pojedini sektori, poput informaciono-komunikacionih tehnologija, e-trgovine i finansijskih usluga, postali nosioci novih poslovnih modela. Međutim, digitalni jaz između urbanih i ruralnih područja i dalje je izražen, što ukazuje na potrebu teritorijalno balansiranog razvoja digitalne infrastrukture. Ovaj nalaz naglašava da pristup digitalnim resursima postaje pitanje socijalne i regionalne jednakosti, a ne samo tehnološkog napretka. Srbija, u poređenju sa zemljama Evropske unije i regiona Centralne i Istočne Evrope zaostaje u pogledu ulaganja u istraživanje i razvoj, digitalnu pismenost i dostupnost kapitala [10]. Ovi faktori predstavljaju temeljne determinante konkurentnosti, jer omogućavaju održivu proizvodnju znanja i tehnološki razvoj. Nedostatak sistemske podrške i integrisanih politika često dovodi do fragmentisanog razvoja digitalnog ekosistema, gde startapovi i mala preduzeća deluju izolovano, bez adekvatne institucionalne podrške. To se potvrđuje i analizom institucionalnih kapaciteta, iako postoji strateški okvir poput Strategije digitalnih veština 2023–2030, njegov efekat je ograničen zbog sporog administrativnog sprovođenja i nedovoljnog umrežavanja [13]. Ovaj zaključak ukazuje da institucionalna efikasnost nije samo tehničko pitanje, već ključni faktor uspeha digitalne transformacije. S druge strane, prisutan je rast inovativnih preduzeća koja koriste tehnologije poput veštačke inteligencije, blockchaina i cloud computing-a, što potvrđuje da digitalno preduzetništvo postaje sve dinamičniji deo srpske ekonomije. Takvi trendovi ukazuju da su mladi preduzetnici spremni da primene savremene tehnologije, ali da im je neophodna bolja institucionalna i finansijska podrška. Prema istraživanju [6], dostupnost kapitala i razvoj digitalnih veština predstavljaju najvažnije preduslove za uspešan rast digitalnih startapova. U kontekstu Srbije, ovo znači da se mora obezbediti efikasniji pristup investicionim fondovima, kao i programima edukacije koji integrišu preduzetničke i digitalne kompetencije. Time bi se stvorio stabilniji ekosistem koji podstiče inovacije i dugoročno zapošljavanje. Značajno je istaći da digitalna ekonomija ne deluje izolovano, već se ukršta sa gotovo svim sektorima društva, od obrazovanja, preko zdravstva, do javne uprave.

Stoga, diskusija rezultata mora uključiti i širi društveni kontekst digitalne transformacije. Digitalne tehnologije ne samo da povećavaju efikasnost, već menjaju način na koji građani komuniciraju, rade i stvaraju vrednost. U tom smislu, razvoj digitalne ekonomije u Srbiji treba posmatrati i kao proces modernizacije društva u celini, gde su inovacije ključni instrument inkluzivnog rasta i socijalne kohezije. Na osnovu sprovedene analize može se zaključiti da su rezultati ohrabrujući, ali i upozoravajući – Srbija se kreće u pravom smeru, ali tempo i obim transformacije nisu dovoljni da bi se dostigao nivo digitalne zrelosti koji imaju zemlje članice EU. Uspostavljanje efikasnog sistema podrške digitalnom preduzetništvu zahteva koordinisano delovanje vlade, obrazovnog sektora i privatnih aktera. To znači da digitalna ekonomija ne može biti tretirana kao izdvojeni segment politike, već kao integrisani deo razvojne strategije zemlje.

6. ZAKLJUČAK

Digitalna ekonomija predstavlja suštinsku komponentu savremenog ekonomskog razvoja i pokretač inovacija, produktivnosti i globalne konkurentnosti. Analiza sprovedena u ovom radu ukazuje da je digitalna transformacija u Srbiji u fazi intenzivnog razvoja, ali da je i dalje ograničena brojnim izazovima institucionalne, infrastrukturne i obrazovne prirode. Prepoznato je da digitalna ekonomija u Srbiji, iako se razvija brže nego prethodnih godina, nije u potpunosti integrisana u širi razvojni okvir, što ograničava njene efekte na privredu i društvo. Jedan od glavnih zaključaka istraživanja jeste da digitalno preduzetništvo ima ključnu ulogu u prevođenju digitalnih potencijala u realni ekonomski rast. Analiza je pokazala da mladi preduzetnici i startap ekosistem u Srbiji postaju sve aktivniji, posebno u oblastima FinTech-a, e-trgovine i softverskih usluga. Međutim, njihov razvoj je često ograničen nedostatkom institucionalne podrške, slabim pristupom kapitalu i neadekvatnim obrazovnim sistemom koji još uvek ne razvija dovoljno digitalne i preduzetničke kompetencije. Ovi izazovi zahtevaju stvaranje nacionalnog okvira koji povezuje obrazovanje, inovacije i tržište rada u jedinstven sistem digitalnog razvoja.

Doprinos ovog rada ogleda se u tome što povezuje teorijski okvir digitalne ekonomije sa konkretnim empirijskim uvidima u kontekstu Srbije i zemalja u tranziciji. Posebna vrednost analize leži u identifikaciji ključnih prepreka i potencijala za razvoj digitalnog preduzetništva, što omogućava formulisanje preporuka za oblikovanje javnih politika. Predloženi sistemski pristup obuhvata četiri ključna pravca: (1) razvoj digitalne infrastrukture i regionalno uravnoteženog pristupa, (2) unapređenje obrazovanja i digitalnih kompetencija, (3) institucionalnu reformu i jačanje regulatorne fleksibilnosti, i (4) stvaranje mehanizama finansijske podrške i rizičnog kapitala za inovativne projekte. Ove smernice predstavljaju osnovu za operacionalizaciju strategije digitalne transformacije koja povezuje ekonomski rast, inovacije i društvenu inkluziju.

Istraživanje je takođe potvrdilo da je digitalna ekonomija višedimenzionalan fenomen koji se ne može posmatrati isključivo kroz tehnološku prizmu. Ona zahteva koordinisano delovanje različitih aktera, države, univerziteta, privatnog sektora i civilnog društva, u cilju stvaranja održivog digitalnog ekosistema. U tom smislu, ovaj rad doprinosi boljem razumevanju uloge digitalne ekonomije u zemljama u tranziciji, sa posebnim fokusom na Srbiju, kao i mogućnostima za premošćavanje digitalnog jaza i stvaranje inkluzivnijeg društva. Rezultati ovog istraživanja imaju i praktične implikacije: oni mogu poslužiti kao osnova za dalje formulisanje razvojnih politika i nacionalnih strategija koje promovišu digitalno preduzetništvo i inovacije. Preporučuje se dalja empirijska istraživanja koja bi obuhvatila longitudinalnu analizu uticaja digitalne transformacije na makroekonomske pokazatelje, kao i komparativna istraživanja među zemljama Zapadnog Balkana. Time bi se omogućilo praćenje efekata digitalne politike kroz vreme i unapređenje metodoloških pristupa u analizi digitalne ekonomije.

LITERATURA

[1] European Commission. (2022). Digital Economy and Society Index (DESI). Brussels: European Commission.

[2] Tapscott, D. (2015). „The Digital Economy: Rethinking promise and peril in the age of networked intelligence“. New York: McGraw-Hill Education.

[3] Nambisan, S. (2017). „Digital entrepreneurship: Toward a digital technology perspective of entrepreneurship“. Entrepreneurship Theory and Practice, 41(6), 1029–1055. https://doi.org/10.1111/etap.12254

[4] OECD. (2023). Going Digital 2023: Shaping policies, improving lives. Paris: OECD Publishing. ttps://doi.org/10.1787/9789264318356-en

[5] UNCTAD. (2022). Digital Economy Report 2022: Value creation and capture in the digital economy. Geneva:

[6] Schwab, K. (2020). The Fourth Industrial Revolution: A Davos Reader. Geneva: World Economic Forum.

[7] World Economic Forum. (2023). Global Competitiveness Report 2023. Geneva: WEF.

[8] Eurostat. (2024). Information and Communication Technology (ICT) sector statistics. Luxembourg: Eurostat.

[9] Startup Genome. (2024). Global Startup Ecosystem Report 2024. San Francisco: Startup Genome.

[10] DESI. (2024). Digital Economy and Society Index 2024 – Country Report Serbia. Brussels: European Commission.

[11] Ministarstvo informisanja i telekomunikacija. (2023). Strategija digitalnih veština za period 2023–2030. Beograd: Vlada Republike Srbije.

[12] European Commission. (2024). Digital progress report Serbia 2024. Brussels: European Commission.

[13] World Bank. (2024). Supporting digital entrepreneurship in Serbia: Policy recommendations. Washington, DC: World Bank.

[14] Stošić Mihajlović, L., & Trajković, S. (2021). Contemporary limitations and opportunities for entrepreneurship development in southern Serbia. bmij, 9(4), 15381563.

DIGITALNA EKONOMIJA: TRENDOVI, IZAZOVI I PERSPEKTIVE RAZVOJA SA FOKUSOM NA SRBIJU

DIGITAL ECONOMY: TRENDS, CHALLENGES AND DEVELOPMENT PERSPECTIVES WITH A FOCUS ON SERBIA

Branislav Stanisavljević i Ljiljana Stošić Mihajlović

Sadržaj – Tema rada je digitalna ekonomija sa fokusom na savremene trendove, izazove i perspektive njenog razvoja u Srbiji. Digitalna ekonomija postaje ključni faktor modernog privrednog rasta jer podstiče inovacije, povećava efikasnost poslovanja i menja tržišnu dinamiku. Srbija, kao zemlja u tranziciji i procesu digitalne transformacije, suočava se sa izazovom kako da iskoristi potencijal digitalizacije u okviru sopstvenog ekonomskog i društvenog konteksta. Pandemija COVID-19 dodatno je naglasila važnost digitalnih tehnologija, ali i ukazala na strukturne slabosti – ograničenu digitalnu pismenost, regulatorne barijere i neujednačen pristup digitalnim resursima. Cilj istraživanja je da identifikuje ključne trendove i izazove digitalne ekonomije u Srbiji, te da pruži preporuke za unapređenje politike i prakse. Metodološki okvir obuhvata analizu relevantnih sekundarnih izvora, izveštaja i statistika, kao i empirijsko istraživanje kroz intervjue i anketiranje aktera iz poslovnog i javnog sektora. Rezultati pokazuju da Srbija beleži napredak u razvoju IT sektora, e-trgovine i startap ekosistema, ali i dalje postoji jaz između tehnološki naprednih i tradicionalnih privrednih grana. Zaključuje se da je za dalji razvoj digitalne ekonomije neophodna integrisana strategija koja povezuje obrazovne reforme, razvoj infrastrukture, regulatorna poboljšanja i podršku inovacijama. Time bi Srbija mogla da poveća konkurentnost, iskoristi evropske inicijative i stvori održiv digitalni ekosistem.

Ključne reči: Digitalna ekonomija, digitalno preduzetništvo, Srbija, digitalna transformacija, evropske inicijative.

Abstract – The paper explores the concept of the digital economy with a focus on current trends, challenges, and development perspectives in Serbia. The digital economy has become a key driver of modern economic growth by fostering innovation, improving business efficiency, and transforming market dynamics. Serbia, as a transition country undergoing digital transformation, faces the challenge of leveraging digitalization potential within its specific economic and social context. The COVID-19 pandemic further emphasized the importance of digital technologies while exposing structural weaknesses—limited digital literacy, regulatory barriers, and unequal access to digital resources. The main aim of this research is to identify the key trends and challenges of the digital economy in Serbia and to provide recommendations for improving policy and practice. The methodological framework combines the analysis of relevant secondary sources, reports, and statistical data with empirical research through interviews and surveys among representatives from the business and public sectors. The results show that Serbia has made progress in developing the IT sector, e-commerce, and the startup ecosystem, yet a gap remains between technologically advanced and traditional industries. The paper concludes that the sustainable development of the digital economy requires an integrated strategy linking education reform, infrastructure improvement, regulatory modernization, and innovation support. This approach would enhance Serbia's competitiveness, strengthen its participation in European digital initiatives, and contribute to building a sustainable digital ecosystem.

Keywords: Digital economy, digital entrepreneurship, Serbia, digital transformation, European initiatives.

1. UVOD

Digitalna ekonomija danas predstavlja jedan od najvažnijih pokretača društveno-ekonomskog razvoja i transformacije tržišta rada, proizvodnih procesa i javnih politika [1]. U njenom središtu nalazi se upotreba digitalnih tehnologija koje omogućavaju kreiranje novih poslovnih modela, unapređenje produktivnosti i redefinisanje odnosa između države, privrede i građana [2]. U globalnim okvirima, digitalna ekonomija se razvija ubrzanim tempom i postaje osnovni preduslov konkurentnosti i inovativnosti savremenih ekonomskih sistema [3].

Srbija, kao zemlja u tranziciji, prolazi kroz intenzivan proces digitalne transformacije koji obuhvata modernizaciju javne uprave, razvoj digitalne infrastrukture, rast IT sektora i razvoj digitalnog preduzetništva [4]. Prema izveštajima Evropske komisije i domaćih institucija, zabeležen je napredak u oblasti elektronskih usluga, e-trgovine i digitalnih inovacija, ali su prisutni i brojni izazovi, među kojima se ističu nedostatak digitalne pismenosti, neravnomeran pristup internetu i nedovoljna institucionalna koordinacija [5], [6].

Pandemija COVID-19 dodatno je naglasila značaj digitalnih tehnologija kao alata za kontinuitet poslovanja, obrazovanja i javnih servisa. Ona je istovremeno otkrila i strukturne slabosti domaćeg sistema, naročito u pogledu digitalne spremnosti malih i srednjih preduzeća i javnih institucija [7]. U takvim okolnostima, digitalna ekonomija postaje i faktor otpornosti i prilagodljivosti u kriznim situacijama, potvrđujući svoju ulogu u očuvanju ekonomske stabilnosti i održivog razvoja.

Cilj ovog rada jeste da pruži sveobuhvatnu analizu trendova, izazova i perspektiva razvoja digitalne ekonomije u

Branislav Stanisavljević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: branislav.stanisavljevic@akademijanis.edu.rs).

Ljiljana Stošić Mihajlović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: branislav.stanisavljevic@akademijanis.edu.rs).

Srbiji, kroz povezivanje teorijskih koncepata i praktičnih iskustava. Poseban akcenat stavljen je na identifikovanje ključnih faktora koji doprinose konkurentnosti srpske privrede u digitalnom okruženju, kao i na analizu institucionalnih i regulatornih mehanizama koji utiču na digitalnu transformaciju. Na osnovu pregleda literature, relevantnih pokazatelja i rezultata terenskih istraživanja, rad ima za cilj da pruži smernice za dalji razvoj digitalne politike u Srbiji [8].

2. TEORIJSKI OKVIR I METODOLOGIJA

Digitalna ekonomija se u teorijskim i empirijskim istraživanjima definiše kao skup ekonomskih aktivnosti zasnovanih na upotrebi digitalnih tehnologija, interneta i podataka kao osnovnih faktora proizvodnje i razmene [9]. Ona obuhvata sve sektore koji koriste digitalne alate za unapređenje poslovanja, inovacija i komunikacije, a time transformiše tradicionalne oblike tržišnih odnosa [10].

Osnove savremenog koncepta digitalne ekonomije postavili su autori kao što su brojni autori Tapscott [11], Negroponte [12] i Castells [13], koji su još devedesetih godina ukazali da digitalne tehnologije menjaju ne samo ekonomsku strukturu, već i društvene interakcije, obrazovne procese i institucionalne modele upravljanja.

Digitalna ekonomija obuhvata ekonomske aktivnosti koje su omogućene i podržane digitalnim tehnologijama poput interneta, mobilnih uređaja i velikih podataka, čime se transformišu tradicionalni sektori, modeli poslovanja i potrošačka ponašanja. Ona predstavlja novu fazu ekonomije u kojoj je informacije u digitalnom obliku ključan proizvodni faktor, a digitalna infrastruktura, platforme i uređaji igraju centralnu ulogu u kreiranju vrednosti [14]. U novijim istraživanjima, digitalna ekonomija se povezuje sa pojmovima kao što su „ekonomija znanja“, „inovaciona ekonomija“ i „informaciono društvo“, jer sve te paradigme naglašavaju značaj znanja, informacija i tehnologije kao ključnih razvojnih resursa [15].

Teorijski modeli digitalne ekonomije obuhvataju više pristupa. Neoklasični model naglašava ulogu tehnoloških inovacija u rastu produktivnosti i konkurentnosti [16], dok institucionalni pristup fokus stavlja na značaj pravnog okvira, tržišne regulacije i javnih politika [17]. Savremeni autori uvode i koncept platformne ekonomije, u kojoj digitalne platforme (poput Ubera, Amazona ili Alibabe) omogućavaju direktnu interakciju između proizvođača i korisnika, stvarajući nove modele vrednosti [18]. U kontekstu zemalja u tranziciji, digitalna ekonomija ima poseban razvojni značaj jer omogućava tzv. „preskakanje razvojnih faza“ (leapfrogging), odnosno mogućnost da zemlje ubrzaju ekonomski rast korišćenjem digitalnih tehnologija bez potpunog razvoja tradicionalne industrijske infrastrukture [19]. Međutim, uspešna primena takvog modela zahteva institucionalnu spremnost, dostupnost kvalifikovanih kadrova i uspostavljanje stabilnog regulatornog okvira [20]. Između pokazatelja digitalne ekonomije i produktivnosti rada u Srbiji, rezultati ukazuju na to da digitalna ekonomija ima značajan kratkoročni uticaj [21]. Razvoj digitalne infrastrukture i povećanje digitalne pismenosti stanovništva predstavljaju ključne preduslove za uspešnu digitalnu transformaciju društva i privrede Republike Srbije [22]. Autorka Stošić Mihajlović [23] posebno naglašava važnosti digitalnih veština i obrazovanja za razvoj digitalne ekonomije u Srbiji.

U okviru evropskog koncepta „Digitalne dekade 2030“, digitalna ekonomija se posmatra kroz četiri strateška stuba: razvoj digitalnih veština, unapređenje digitalne infrastrukture, digitalnu transformaciju preduzeća i digitalizaciju javne uprave [24]. Ovaj okvir predstavlja referentni model za zemlje članice i kandidate, uključujući Srbiju, i koristi se kao pokazatelj stepena digitalne spremnosti i napretka u odnosu na evropski prosek. Razvoj digitalne ekonomije u Srbiji zavisi od sposobnosti da se postigne ravnoteža između inovacija, obrazovanja i institucionalne podrške. Ovaj pristup omogućava sveobuhvatno razumevanje procesa digitalne transformacije i predstavlja osnovu za dalju analizu trendova, izazova i perspektiva razvoja digitalne ekonomije u Srbiji.

3. TRENDOVI RAZVOJA DIGITALNE EKONOMIJE U SRBIJI

Digitalna ekonomija u Srbiji poslednjih godina beleži ubrzan rast, što potvrđuju podaci o povećanju udela IKT sektora u BDP-u, rast izvoza softverskih usluga i ekspanzija digitalnih startapova. U okviru Strategije razvoja informacione tehnologije i digitalne transformacije Srbije, poseban fokus stavljen je na digitalnu infrastrukturu, razvoj e-uprave i unapređenje digitalnih kompetencija građana [25].

Jedan od ključnih trendova odnosi se na rast digitalnog preduzetništva. Broj startap kompanija u Srbiji porastao je za više od 50% u poslednjih pet godina, a Beograd i Novi Sad pozicionirani su kao regionalni centri za inovacije i tehnološki razvoj [26]. IT sektor postaje značajan izvoznik, dok se digitalne platforme i aplikacije koriste kao glavni instrument poslovanja u oblastima finansijskih tehnologija, e-trgovine i kreativnih industrija.

Drugi važan trend je digitalizacija javne uprave. Projekti poput „eUprave“, „eZdravlja“, „eFakture“ i „eAgrara“ omogućavaju efikasniju komunikaciju građana i institucija, smanjenje administrativnih troškova i veću transparentnost. Prema izveštaju DESI (Digital Economy and Society Index), Srbija pokazuje stalni napredak, naročito u oblastima e-servisa i povezivosti, ali i dalje zaostaje u segmentu digitalnih veština i upotrebe naprednih tehnologija u preduzećima [27].

Treći značajan trend odnosi se na širenje digitalnih inovacija u obrazovanju, zdravstvu i javnim uslugama. Tokom pandemije COVID-19 razvijene su brojne platforme za online učenje, elektronske zdravstvene servise i digitalne oblike plaćanja, što je stvorilo osnovu za dalji razvoj digitalne inkluzije. U tom smislu, Srbija sve više sledi globalne trendove uvođenja veštačke inteligencije, blokčejn tehnologije i automatizacije. U skladu sa evropskim politikama digitalne tranzicije, Srbija učestvuje u programima Digitalna Evropa i Horizont Evropa, koji promovišu inovacije i digitalnu transformaciju privrede. Integracija u evropski digitalni prostor doprinosi modernizaciji regulatornog okvira i jačanju institucionalnih kapaciteta, što je od ključnog značaja za povećanje konkurentnosti domaćih preduzeća.

Sve navedeno ukazuje da digitalna ekonomija u Srbiji ulazi u fazu ubrzanog rasta, ali i da postoje strukturna ograničenja koja mogu usporiti dalji razvoj. Ta ograničenja odnose se na nedovoljnu digitalnu pismenost, ograničen pristup kapitalu za inovacije i manjak stručnog kadra u tehnološkim oblastima.

4. IZAZOVI DIGITALNE TRANSFORMACIJE

Iako digitalna ekonomija u Srbiji pokazuje pozitivan trend rasta, suočava se sa nizom izazova koji usporavaju njen puni potencijal. Prvi i najvažniji izazov jeste nedostatak digitalne pismenosti i stručnih veština u radnoj snazi. Istraživanja pokazuju da manje od 50% stanovništva poseduje osnovne digitalne kompetencije, dok su napredne veštine, poput analitike podataka i programiranja, koncentrisane u malom broju IT stručnjaka [28].

Drugi izazov odnosi se na neujednačen razvoj digitalne infrastrukture. Iako je pokrivenost urbanih područja širokopojasnim internetom visoka, ruralne oblasti i dalje zaostaju, što stvara digitalni jaz i ograničava ekonomske mogućnosti lokalnih zajednica. Ovaj problem posebno je izražen u obrazovanju i poljoprivredi, gde je pristup digitalnim alatima i znanju često ograničen.

Treći izazov odnosi se na regulatorni okvir. Iako je Srbija usvojila niz strategija i zakona u oblasti digitalizacije, njihova implementacija i međuresorna koordinacija ostaju nedovoljno efikasni. Postoji potreba za bržim usklađivanjem domaćeg zakonodavstva sa evropskim standardima, posebno u oblastima zaštite podataka, kibernetičke bezbednosti i elektronskog poslovanja.

Finansijska ograničenja predstavljaju četvrti izazov. Inovativne kompanije i startapovi često se suočavaju sa otežanim pristupom izvorima finansiranja, dok su mehanizmi podrške, poput fondova rizičnog kapitala i javno-privatnih partnerstava, još u razvoju. Pored toga, birokratske prepreke i niska institucionalna efikasnost demotivišu privatni sektor da ulaže u digitalne inovacije.

Konačno, važan izazov je i društvena dimenzija digitalne transformacije. Digitalna nejednakost, nedostatak poverenja u digitalne usluge i otpor prema promenama u javnom sektoru predstavljaju faktore koji usporavaju prihvatanje novih tehnologija. Da bi se ovi izazovi prevazišli, potrebne su integrisane javne politike koje kombinuju obrazovanje, infrastrukturu, zakonodavstvo i kulturu inovacija.

5. PERSPEKTIVE RAZVOJA I PREPORUKE

Perspektive razvoja digitalne ekonomije u Srbiji su pozitivne, ali zavise od sposobnosti da se sistemski unaprede ključne oblasti - obrazovanje, infrastruktura, zakonodavstvo i inovacije. Prema projekcijama domaćih i međunarodnih institucija, IKT sektor može postati jedan od vodećih nosilaca rasta BDP-a u narednoj deceniji.

Prva preporuka odnosi se na razvoj digitalnih veština i reformu obrazovanja. Potrebno je uvesti digitalne sadržaje u sve nivoe obrazovanja, ojačati saradnju univerziteta i industrije, i podržati programe prekvalifikacija za IT i digitalne kompetencije. Druga preporuka tiče se unapređenja digitalne infrastrukture, posebno u ruralnim i nedovoljno razvijenim područjima, gde je pristup internetu i dalje ograničen.

Treća preporuka je kreiranje povoljnijeg regulatornog okvira koji bi podstakao inovacije, smanjio administrativne barijere i omogućio bržu digitalnu transformaciju javnih servisa . U tom smislu, usklađivanje sa evropskim direktivama o digitalnim tržištima, sajber bezbednosti i elektronskom poslovanju predstavlja strateški prioritet.

Četvrta preporuka odnosi se na finansijsku podršku digitalnim preduzećima. Neophodno je razviti fondove za inovacije, olakšati pristup evropskim grantovima i podsticati saradnju između startapova i velikih kompanija. Takođe, važna je institucionalna stabilnost i koordinacija između ministarstava, agencija i lokalnih samouprava.

Na kraju, ključno je jačanje kulture inovacija i poverenja u digitalne procese. To podrazumeva transparentno funkcionisanje institucija, jačanje sajber bezbednosti i aktivnu komunikaciju države sa građanima o prednostima digitalne transformacije. Samo sinergijom javnog, privatnog i akademskog sektora moguće je ostvariti održiv i inkluzivan razvoj digitalne ekonomije u Srbiji.

6. ZAKLJUČAK

Digitalna ekonomija predstavlja jedan od ključnih stubova savremene transformacije društva i privrede, jer u sebi integriše inovacije, znanje i tehnologiju kao osnovne pokretače rasta i razvoja. U kontekstu Srbije, njen razvoj ima višestruki značaj, ekonomski, društveni i institucionalni. Digitalna ekonomija daje povećanje produktivnosti, konkurentnosti i stvaranje novih tržišnih prilika, podstiče modernizaciju javne uprave, inkluziju građana i razvoj održivih modela poslovanja. Analiza sprovedena u ovom radu pokazuje da Srbija poseduje solidne osnove za razvoj digitalne ekonomije, posebno u segmentima informacionih tehnologija, digitalnih servisa i inovacionih startapova. Međutim, razvojni potencijal i dalje je ograničen institucionalnim slabostima, nedovoljnom digitalnom pismenošću stanovništva i neujednačenim regionalnim razvojem. Poslednjih godina ostvareni značajni pomaci kroz programe digitalizacije javne uprave, razvoj e-trgovine i unapređenje IT obrazovanja, ali postoji potreba za sistemskim pristupom koji bi povezao obrazovne, ekonomske i tehnološke politike u jedinstven okvir. Digitalna transformacija u Srbiji mora biti shvaćena kao strateški proces koji zahteva dugoročne i koordinisane akcije. Ključne preporuke za unapređenje uključuju: jačanje institucionalnog okvira i regulatorne predvidivosti; ulaganje u razvoj digitalnih kompetencija na svim nivoima obrazovanja; podsticanje inovacija kroz startap ekosistem; kao i jačanje digitalne infrastrukture, naročito u ruralnim i manje razvijenim područjima . Posebnu pažnju treba posvetiti razvoju digitalnog preduzetništva, koje predstavlja nosioca novih oblika zapošljavanja i konkurentnosti u globalnoj ekonomiji.

U širem društvenom kontekstu, digitalna ekonomija u Srbiji može da posluži kao instrument inkluzivnog razvoja i socijalne kohezije. Digitalne tehnologije omogućuju demokratizaciju pristupa informacijama, poboljšanje kvaliteta javnih usluga i transparentnost rada institucija.

Konačno, perspektiva razvoja digitalne ekonomije u Srbiji zavisi od sposobnosti da se izgradi sinergija između javnog i privatnog sektora, akademske zajednice i civilnog društva. Uspeh digitalne transformacije meriće se ne samo stepenom tehničke opremljenosti, već i sposobnošću društva da digitalne alate koristi kao instrument društvene odgovornosti, inovativnosti i održivosti. U tom smislu, digitalna ekonomija nije samo tehnološki, već i razvojni i civilizacijski izazov, koji zahteva nove modele razmišljanja, učenja i delovanja.

LITERATURA

[1] International Telecommunication Union. „How Serbia plans to transition to a digital economy“. 2020, 14 May. Dostupno: https://www.itu.int/hub/2020/05/how-serbia-plans-to-transition

[2] I. Domazet, J. Zubović, M.Lazić, “Driving Factors of Serbian Competitiveness – Digital Economy and ICT”. Strategic Management, Vol. 23 (2018), No. 1, pp. 020–028

[3] M. Krivokuća, D. Ćoćkalo, M. Bakator „The potential of digital entrepreneurship in Serbia“. Annals of the Faculty of Economics in Subotica, Vol. 57, No. 45 (2021), pp. 097115A. E. Bryson and Y. C. Ho, Applied Optimal Control, New York: Wiley 1975.

[4] S. PopovićPantić, D. Semenčenko, N., Vasilić „Digital technologies and the financial performance of female SMEs in Serbia: The mediating role of innovation“, 2020.

[5] S. Milicević, S, “Digital Development of Serbia Compared to Selected European Countries: A Comparative Analysis” Vol. 58 Nn. 1 (2005). Economic Analysis: Appiled Research in Emerging Market Articles. Dostupno na: https:/www.library.ien.bg.ac.rs/index.php/ea/issue/view/239

[6] National Skills Gaps and Needs Analysis: Serbia”, 2024 Izveštaj. Dostupnpo na: https://interreg-danube.eu/storage/media/01j9ehd4ykyqpd3h2shnnexzab.pdf?utm

[7] D. Rusak, O. Pidchosa, A. Filipenko, A. (2023). Digital economic networks in the context of global transformations. Studies of Applied Economics, 39(6). 2023 DOI:10.25115/eea.v39i6.5161.

[8] G. Đoković, P. Čelik, M. Arsić, “Digital entrepreneurship in the context of the Republic of Serbia“, Industrija, 52, 2024. DOI:10.5937/industrija5252045.

[9] European Commission, “State of the Digital Decade 2025 Report“, Brussels: European Commission.

[10] European Commission / Digital Skills & Jobs Platform. „State of the Digital Decade Package“. Brussels, 2025.

[11] D. Tapscott, “The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence“ 1996., New York: McGraw-Hill.

[12] N. Negroponte, „Being Digital“, New York: Knopf, 1995.

[13] M. Castells, „ The Rise of the Network Society“. 1996, Oxford: Blackwell.

[14] Government of the Republic of Serbia, „Development of digital economy, innovative business“. News release.

[15] U.S. International Trade Administration. (2024, Sept 20). „Serbia – Digital Economy“ Country Commercial Guide, 2024.

[16] Digital Serbia Initiative, „Digital Serbia Initiative Strategy 2025-2027“, Unlocking the Next Level of the Digital Ecosystem.

[17] D. Tapscott, „The Digital Economy: Promise and Peril in the Age of Networked Intelligence“, New York: McGraw-Hill.

[18] OECD, „Digital transformation cluster: Economic Convergence Scoreboard for the Western Balkans“, OECD Publishing, 2025.

[19] European Union, „Digital Decade – digital skills for all by 2030“, Digital Skills & Jobs Platform. (n.d.),

[20] E. Kahrović, A. Avdović, „Impact of Digital Technologies on Business Performance in Serbia“. Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies, 2021. DOI:10.7595/management.fon.2021.0039.

[21] L. Madžar, „The Impact of the Digital Economy on Labour Productivity in Serbia: Application of the ARDL and ECM Approaches“, Journal of Social Sciences, 2020.

[22] Strategija razvoja informacione tehnologije i digitalne transformacije Srbije, Vlada Republike Srbije. 2022.

[23] Lj. Stošić Mihajlović, “Nematerijalna stimulacija kao zadatak menadžmenta u cilju povećanja produktivnosti”, Economy and Market Communication Review, Vol. XII, No. 2, 2022, pp. 476491. DOI:10.7251/EMC2202476M.

[24] J. Popović, I. Dudaš, D. Milošević, J., & Luković, „Digital Transformation as a Chance for Small Business Development“, International Journal of Management Trends: Key Concepts and Research, 1(1), 2024. 2938.

[25] Strategija razvoja informacionog društva i informacione bezbednosti u Republici Srbiji za period od 2021. do 2026.: PDF dokument – „Information Society and Information Security Development Strategy of the Republic of Serbia for the period 2021-2026

[26] Digital Serbia Initiative: Startup Scanner 2024 – Funding and Business Support for Startups. Dostupno na: https://wbsa.forgahosting.com/wp-content/uploads/2025/05/Serbia-Startup-Ecosystem-Guide-2025.pdf

[27] Western Balkans Digital Economy and Society Index (WB DESI) 2024 Report. Balkan Innovation. Published 2025.

[28] Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). Western Balkans Competitiveness Outlook 2024 – Serbia (June 2024). Dostupno na: https://www.oecd.org/content/oecd/en/publications/reports/2024/06/western-balkans-competitiveness-outlook-2024-serbia

KREATIVNE CIRKULARNE PRAKSE U REPUBLICI SRBIJI: EMPIRIJSKA ANALIZA U KONTEKSTU CIRKULARNE EKONOMIJE

CREATIVE CIRCULAR PRACTICES IN THE REPUBLIC OF SERBIA: EMPIRICAL ANALYSIS IN THE CONTEXT OF THE CIRCULAR ECONOMY

Milica Stanković i Gordana Mrdak

Sadržaj – Cirkularna ekonomija je izuzetno važna tema u naučnim i stručnim debatama, dok kreativne cirkularne prakse predstavljaju važan mehanizam za podsticanje odgovornog ponašanja pojedinaca i zajednica. Kreativne cirkularne prakse doprinose podizanju ekološke svesti i prevazilaženju ekoloških izazova, uz podsticanje društvenih promena kroz razmenu znanja i saradnju na nivou zajednice. Cilj rada je da prikaže značaj kreativnih cirkularnih praksi kroz analizu stavova, percepcija i motiva ispitanika iz Srbije za uključivanje u ovakve aktivnosti. Autori su sproveli primarno istraživanje u avgustu 2025. godine na uzorku od 104 ispitanika. Rezultati pokazuju pozitivan stav ispitanika prema kreativnim cirkularnim praksama. Najveći broj ispitanika se slaže sa tvrdnjama da održivost mora biti deo svakodnevnog života i da je kreativnost važna za rešavanje ekoloških problema. Ispitanici najčešće praktikuju krativne cirkularne prakse poput izrade novih predmeta od starih materijala, popravljanja i dorade odeće i nameštaja. Važan zaključak je da ispitanici ne uče o cirkularnim kreativnim praksama samo u teoriji, već ih većina svakodnevno implementira. Veštine za implementaciju kreativnih cirkularnih praksi najčešće stiču gledanjem video sadržaja i tutorijala, ali i kroz sopstvene pokušaje i eksperimentisanje. Kao ključni motivi za uključivanje u kreativne održive aktivnosti izdvajaju se želja za učenjem, ekološka svest i racionalno upravljanje resursima, dok su socijalni i estetski motivi prisutni u manjoj meri. Rezultati istraživanja mogu poslužiti kao osnova za kreiranje obrazovnih programa, lokalnih inicijativa i javnih politika fokusiranih na podsticanje kreativnosti i održih praksi u Republici Srbiji.

Ključne reči: cirkularna ekonomija, kreativne cirkularne prakse, održivi razvoj, kreativna ekonomija

Abstract – Circular economy is an extremely important topic in scientific and professional debates, while creative circular practices represent an important mechanism for encouraging responsible behavior of individuals and communities. Creative circular practices contribute to raising environmental awareness and overcoming environmental challenges, while encouraging social change through knowledge sharing and community collaboration. The aim of the paper is to show the importance of creative circular practices through the analysis of attitudes, perceptions and motives of respondents from Serbia for involvement in such activities. Authors conducted a primary survey in August 2025 on a sample of 104 respondents. The results show a positive attitude of the respondents towards creative circular practices. The majority of respondents agree with the statements that sustainability must be a part of everyday life and that creativity is important for solving environmental problems. Respondents most often practice creative circular practices such as making new items from old materials and repairing clothes and furniture. An important conclusion is that the respondents do not learn about circular creative practices only in theory, but most of them implement them on a daily basis. Skills for implementing creative circular practices are most often acquired by watching video content and tutorials, but also through own attempts and experimentation. The key motives for involvement in creative sustainable activities are the desire to learn, environmental awareness and rational management of resources, while social and aesthetic motives are present to a lesser extent. The research results can serve as a basis for creating educational programs, local initiatives and public policies focused on encouraging creativity and sustainable practices in the Republic of Serbia.

Keywords: circular economy, creative circular practices, sustainable development, creative economy

1. UVOD

Cirkularna ekonomija zauzima centralno mesto u naučnim i stručnim debatama, prventstveno zbog posledica klimatskih promena, ograničenih resursa i sve veće količine otpada. Tranzicija od linearne ka cirkularnoj ekonomiji je neminovna. Fokus je na produženom životnom veku proizvoda, eliminaciji otpada, recikliranju proizvoda na kraju životnog veka, te obnovi prirodnih sistema [1]. U Evropi je tema cirkularne ekonomije deo Zelenog plana i strategije za klimatsku neutralnost do 2050. godine. Akcioni plan za cirkularnu ekonomiju iz 2020. godine i Uredba o ekodizajnu za održive proizvode usvojena 2024. godine uvode obavezne zahteve za trajnost i popravljivost proizvoda, ali i standardizaciju proizvoda i dostupnost rezervnih delova. Evropska unija je postavila jasan cilj: udvostručiti upotrebu recikliranih materijala do 2030. godine. Na taj način smanjila bi se eksploatacija sirovina i negativni uticaji na životnu sredinu. Ipak, tranzicija sa linearne na cirkularnu ekonomiju nije jednostavna i zahteva ulaganje značajnih napora. Podaci pokazuju da evropska ekonomija ipak ostaje dominantno linearna [2].

Cilj rada je da prikaže značaj kreativnih cirkularnih praksi kroz analizu stavova, percepcija i motiva ispitanika iz Srbije za uključivanje u ovakve aktivnosti. Poseban akcenat je na tome kako ove prakse doprinose održivosti i ličnom razvoju. Nakon pregleda literature i relevantnih izveštaja izvšena je

Milica Stanković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: milica.stankovic@akademijanis.edu.rs).

Gordana Mrdak, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: gordana.mrdak@akademijanis.edu.rs).

analiza i sinteza teorijskih i empirijskih saznanja iz postojeće literature novijeg datuma. Primarno istraživanje je sprovedeno u avgustu 2025. godine na uzorku od 104 ispitanika kako bi se analizirali stavovi prema održivosti i kreativnosti, motivacija i samoprocena učestvovanja u održivim kreativnim praksama.

2. PREGLED LITERATURE

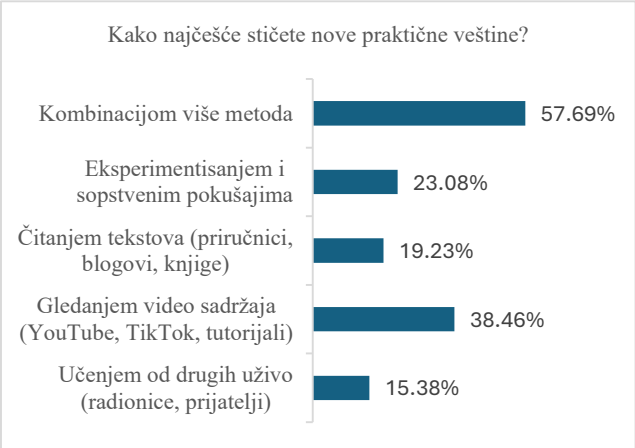
Cirkularni poslovni modeli donose i ekonomske i društvene koristi kroz otvaranje novih radnih mesta i smanjenje zavisnosti od primarnih resursa. Kreativne prakse – popravka, redizajn – doprinose održivosti i stvaraju dodatnu vrednost [3]. Stavovi mladih ljudi se postepeno menjaju, te su sve spremniji da ponovo koriste, recikliraju i zalažu se za održive prakse u svojim zajednicama. Ovakaj participativan pristup može osnažiti mlade da postanu aktivni akteri promena, umesto pasivnih posmatrača [4]. Na nivou preduzeća u zemljama Zapadnog Balkana svest o cirkularnim poslovnim konceptima raste, ali su još uvek glavne prepreke za implementaciju istih finansijski i ljudski kapaciteti. Imajući u vidu da su upravo socijalna preduzeća često pokretači inovacija u cirkularnoj ekonomiji, važno je osnažiti ih za primenu kreativnih cirkularnih praksi [5].

U skladu sa Zelenim planom i Zelenom agendom za Zapadni Balkan, prelazak na cirkularnu ekonomiju je jedan od prioriteta za Srbiju. Ipak, podaci govore da nivo generisanja otpada ostaje vrlo visok. Tokom 2024. godine stvoreno je 209,7 miliona tona otpada, što je rast od 16,4% u odnosu na prethodnu godinu [6]. Stopa reciklaže u Srbiji je i dalje niska, iako postoje institucionalni napori da se približi evropskim praksama. Upravo zato kreativne cirkularne prakse dobijaju na značaju. One podižu ekološku svest, podstiču društvene promene i nude praktična rešenja. Kreativnost, dakle, postaje put ka prevazilaženju ekoloških izazova. Pored toga, kreativne cirkularne prakse promovišu razmenu znanja i saradnju unutar zajednica.

Srbija je prepoznala značaj Agende 2030 i već je započela proces integrisanja ciljeva održivog razvoja u svoj nacionalni strateški okvir, imajući u vidu da je u pitanju neodvojiv deo puta ka članstvu u EU. Ipak, iako Srbija ima strategije koje se odnose na upravljanje otpadom, energetsku efikasnost i zaštitu životne sredine, te strategije nisu dovoljno integrisane kako bi omogućile održive modele proizvodnje i potrošnje [7]. U većini nacionalnih strategija, cirkularna ekonomija se tretira kroz prizmu fizičkog otpada i proizvodnih sektora, dok se kreativne industrije gotovo i ne pominju. Kada su prisutne, obično se svode na teme modne industrije i ekološkog brendiranja, što pokazuje nedovoljno prepoznavanje njihovog šireg potencijala za inovacije i promenu potrošačkih navika.

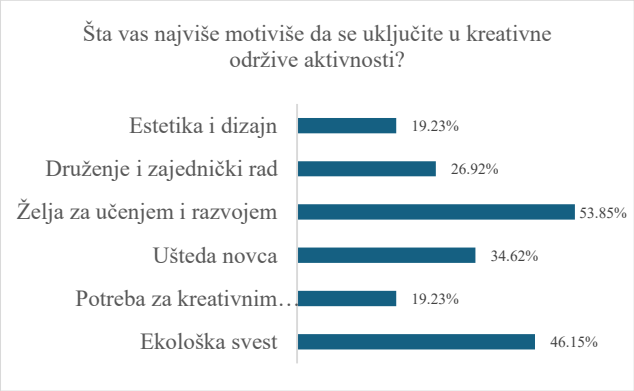
3. METODOLOGIJA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Primarno istraživanje je sprovedeno u avgustu 2025. godine na uzorku od 104 ispitanika. Upitnik je obuhvatio sociodemografske podatke, stavove prema održivosti i kreativnosti, motivaciju i samoprocenu učestvovanja u praksama. Upitnik je distribuiran online, čime je omogućeno jednostavno i anonimno učešće ispitanika. Prikupljeni podaci analizirani su deskriptivnom statistikom. Kada je u pitanju demografska struktura ispitanika, gotovo polovina ispitanika je starosti 35 do 45 godine. Za procenu načina sticanja veština ispitanici su imali mogućnost da navedu najčešće metode učenja (pri čemu su mogli da označe veći broj metoda učenja). Odgovori su analizirani i grupisani u pet kategorija: gledanje video sadržaja (YouTube, TikTok, tutorijali), eksperimentisanje i sopstveni pokušaji, čitanje tekstova (priručnici, blogovi, knjige), učenje od drugih uživo (radionice, prijatelji) i kombinovanje više metoda. Rezultati pokazuju da je najčešći način sticanja veština kombinovanje više metoda (57.69%), dok je gledanje video sadržaja (38.46%) pojedinačno najčešće pominjana metoda. Sledi eksperimentisanje i sopstveni pokušaji (23.08%), zatim čitanje tekstova (19.23%), dok učenje od drugih uživo bilo najmanje zastupljeno (15.38%). Ovakva distribucija ukazuje da ispitanici preferiraju praktične i multimedijalne forme učenja, dok tradicionalni tekstualni izvori imaju manju ulogu (Slika 1.).



Slika 1. *Načini sticanja novih praktičnih veština*

Kada su u pitanju motivi za uključivanje u kreativne i održive aktivnosti, ispitanici su takođe imali mogućnost da se opredele za više motiva. Analiza motivacionih faktora pokazala je da ispitanike najviše inspiriše želja za učenjem i razvojem (53.9%), što ukazuje da kreativne i održive aktivnosti ne doživljavaju samo kao praktične, već i kao prilike za lično napredovanje i usvajanje novih veština. Ekološka svest zauzima drugo mesto (46.2%), što potvrđuje da je očuvanje životne sredine značajan pokretač uključivanja u ovakve inicijative. Ušteda novca navela je trećina ispitanika (34.6%), što sugeriše da materijalna korist i racionalno korišćenje resursa takođe igraju važnu ulogu u motivaciji. Druženje i zajednički rad prepoznato je kod 26.9% ispitanika, naglašavajući socijalnu dimenziju ovih aktivnosti. Sa druge strane, estetika i dizajn (19.2%) i potreba za kreativnim izražavanjem (19.2%) bili su najmanje zastupljeni, što pokazuje da ispitanici kreativnost i lepotu proizvoda doživljavaju više kao sporedne benefite nego kao primarne motive. Ovi nalazi ukazuju da učešće u kreativnim i održivim praksama u najvećoj meri proizilazi iz kombinacije unutrašnje motivacije (učenje, ekološka svest) i praktičnih koristi (ušteda novca), dok estetski i umetnički aspekti imaju sekundarnu ulogu. To sugeriše da programe ovog tipa treba dizajnirati tako da kombinuju edukativni i ekološki pristup sa jasnim praktičnim benefitima i elementima zajedništva (Slika 2.).



Slika 2. *Motivacija za uključivanje u kreativne održive aktivnosti*

U radu je za procenu stavova ispitanika prema održivom životu i kreativnim ekološkim praksama korišćena petostepena Likertova skala (1 = u potpunosti se ne slažem, 5 = u potpunosti se slažem). Deskriptivna statistika pokazala je da su prosečne ocene po stavkama bile između 3.65 i 4.27. Najviše slaganja zabeleženo je kod tvrdnji da održivost treba biti važan deo svakodnevnog života (M = 4.27, SD = 1.10) i da je kreativnost važna za rešavanje ekoloških problema (M = 4.23, SD = 1.16). Sa druge strane, tvrdnje koje se odnose na praktična ponašanja – biranje recikliranih ili ponovo korišćenih proizvoda (M = 3.65, SD = 1.31) i popravljanje stvari pre nego što se bace (M = 3.65, SD = 1.33) – imale su niže prosečne vrednosti i veću varijabilnost, što ukazuje na izraženiji raspon odgovora među ispitanicima. Tvrdnja o preferenciji ispitanika da kupuju manje, ali kvalitetnije (M = 3.96, SD = 0.86), pokazala je umeren nivo slaganja uz najmanje odstupanje među odgovorima.

Tabela 1. *Stavovi o kreativnim cirkularnim praksama*

Stavovi o kreativnim cikularnim praksama	M	SD	Min	Max
Održivost treba biti važan deo svakodnevnog života	4.27	1.10	1	5
Rado biram reciklirane ili ponovo korišćene proizvode	3.65	1.31	1	5
Smatram da je kreativnost važna za rešavanje ekoloških problema	4.23	1.16	1	5
Preferiram da kupujem manje, ali kvalitetnije	3.96	0.86	1	5
Volim da popravljam stvari pre nego što ih bacim	3.65	1.33	1	5

Za procenu stavova ispitanika o ulozi kreativnosti, praktičnog učenja i umetničkog izraza u održivom razvoju korišćena je petostepena Likertova skala (1 = uopšte se ne slažem, 5 = u potpunosti se slažem). Deskriptivna statistika pokazala je da su prosečne ocene svih stavki bile relativno visoke, u rasponu od 4.08 do 4.62. Najviše slaganja zabeleženo je kod tvrdnje da je učenje kroz praksu efikasnije od teorijskog učenja (M = 4.62, SD = 0.88). Ističe se da kreativnost može biti pokretač društvenih promena (M = 4.46, SD = 0.80), što je u skladu sa teorijskim okvirima koji kreativne prakse povezuju sa razvojem inovativnih i transformativnih društvenih rešenja. Tvrdnje koje se odnose na ponovnu upotrebu materijala (M = 4.08, SD = 1.04) i moć vizuelne umetnosti da menja razmišljanje o otpadu (M = 4.15, SD = 1.17) pokazale su nešto veću varijabilnost među ispitanicima. Navedeno može značiti da su pojedinci različito upoznati sa mogućnostima praktične primene cirkularnih praksi. Sa druge strane, evidentno je da kreativne radionice mogu motivisati ljude na održivo ponašanje (M = 4.27, SD = 0.99), što podržava koncept učenja kroz zajedničko iskustvo i participativne metode.

Za procenu učestalosti angažovanja ispitanika u kreativnim i održivim praksama korišćena je petostepena Likertova skala (1 = nikad, 5 = vrlo često). Deskriptivna statistika pokazala je da su prosečne ocene po stavkama bile između 3.08 i 3.54. Najčešće isticana aktivnost bilo je korišćenje starih materijala u novim kreacijama (M = 3.54, SD = 1.22) i popravljanje i doređivanje odeće ili nameštaja (M = 3.42, SD = 1.25). Sa druge strane, pravljenje rukotvorina i „uradi sam" (DIY) projekata (M = 3.08, SD = 1.36) i deljenje kreativnih radova sa drugima (M = 3.15, SD = 1.44) imale su nešto niže prosečne vrednosti i veću varijabilnost.

5. ZAKLJUČAK

Zaključci istraživanja potvrđuju da su pozitivni stavovi, visoka motivacija i želja za učenjem usko povezani sa primenom cirkularnih praksi. Ključni doprinos rada je u tome što pruža empirijske dokaze o značaju ovih praksi. Rezultati se mogu koristiti za kreiranje lokalnih i nacionalnih inicijativa koje podižu svest i podstiču održive navike.

Rezultati pokazuju vrlo pozitivan stav ispitanika prema kreativnim cirkularnim praksama. Najveći broj ispitanika se slaže sa tvrdnjama da održivost mora biti deo svakodnevnog života i da je kreativnost važna za rešavanje ekoloških problema. Kada su u pitanju same prakse, najčešće se navodi izrada novih predmeta od starih materijala, popravljanje i dorada odeće i nameštaja. Dakle, ispitanici ne ostaju samo na nivou stava, već deo njih svakodnevno implementira kreativne cirkularne prakse. Veštine za implementaciju kreativnih cirkularnih praksi najčešće stiču gledanjem video sadržaja i tutorijala, ali i kroz sopstvene pokušaje i eksperimentisanje. To potvrđuje da su digitalni alati važni, ali i da lično iskustvo ostaje ključno za usvajanje cirkularnih veština. Najčešći motivi za učešće u kreativnim cirkularnim praksama su ekološka svest, želja za učenjem i lični razvoj, uz uštedu novca. Upravo ta kombinacija motiva pokazuje da cirkularna kreativnost nije samo ekološka praksa već i značajna razvojna aktivnost za pojedince.

LITERATURA

[1] Ellen MacArthur Foundation, "What is the meaning of a circular economy and what are the main principles?," Circular Economy Introduction. [Online]. Dostupnp na: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview, Pristupljeno: 10.09.2025.

[2] European Environment Agency, "Circular material use rate in Europe." [Online]. Dostupnp na: https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/circular-material-use-rate-in-europe, Pristupljeno: 10.09.2025.

[3] Ministry of Environmental Protection and UNDP, Roadmap for Circular Economy in Serbia. Ministry of Environmental Protection, Republic of Serbia, 2020.

[4] M. Obakhavbaye, "Inclusive circular economy: Promoting young adults' participation through citizen inquiry and creative participatory research methods in a developing country," Social Sciences & Humanities Open, vol. 12, 101841, 2025.

[5] T. Davis and M. Charter, The Circular Economy in the Creative Industries: Progress, Challenges and Hard Truths. University for the Creative Arts, 2025.

[6] Republički sekretarijat za javne politike, Srbija i Agenda 2030: Mapiranje nacionalnog strateškog okvira u odnosu na ciljeve održivog razvoja. Beograd, Serbia: RSJP, 2017.

[7] Republički zavod za statistiku, Stvoreni i tretirani otpad. RZS, 2024.

UTICAJ VEŠTAČKE INTELIGENCIJE NA TRANSFORMACIJU TRŽIŠTA RADA I KONKURENTNOST MALIH I SREDNJIH PREDUZEĆA U GLOBALNOJ EKONOMIJI

THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON LABOR MARKET TRANSFORMATION AND THE COMPETITIVENESS OF SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES IN THE GLOBAL ECONOMY

Suzana Stojković

Sadržaj – Savremene uslove poslovanja karakterišu promene. Jedan od najznačajnijih pokretača promena u savremenoj ekonomiji jeste ubrzani razvoj veštačke inteligencije. Veštačka inteligencija dovodi do modifikacije načina poslovanja, posebno u malim i srednjim preduzećima, koja čine najveći deo tržišta, do transformacije celokupnog tržišta rada, kao i redefinisanja profesionalnih uloga i promena poslovnih modela malih i srednjih preduzeća. Uticaj veštačke inteligencije ne prodire samo u proces proizvodnje ili proces pružanja usluga, već i u načine na koje funkcioniše celokupno društvo. Posledice veštačke inteligencije su sve vidljivije i zbog toga je vrlo bitno analizirati njen uticaj. Sve navedeno je bitno za preduzetnike, menadžere i kreatore ekonomskih politika kako bi mogli da unaprede svoju poziciju u savremenom ekonomskom ambijentu. Bez inovacija i kretanja u skladu sa promenama nema opstanka, niti napretka. Cilj rada je da se pregledom relevantne literature analizira na koji način veštačka inteligencija transformiše tržište rada, tražene veštine i organizaciju rada, kao i kako utiče na globalnu konkurentnost malih i srednjih preduzeća u uslovima digitalne transformacije i globalne ekonomske transformacije. Metodološki, rad je zasnovan na analizi relevantne akademske literature i izveštaja međunarodnih organizacija, kao i na analizi studija slučaja iz različitih sektora i zemalja. U radu se analiziraju osnovni koncepti vezani za veštačku inteligenciju, digitalnu ekonomiju, transformaciju tržišta rada i konkurentnost. Takođe, govori se o položaju malih i srednjih preduzeća u globalnom ekonomskom sistemu i izazovima sa kojima se ova preduzeća susreću prilikom implementacije naprednih savremenih tehnologija bez kojih ista ne mogu da budu konkurentna i da opstanu na tržištu.

Ključne reči: veštačka inteligencija, digitalna transformacija, mala i srednja preduzeća, konkurentnost.

Abstract – Contemporary business conditions are characterized by constant change. One of the most significant drivers of change in the modern economy is the accelerated development of artificial intelligence. Artificial intelligence is reshaping business operations, particularly in small and medium-sized enterprises, which make up the majority of the market, leading to the transformation of the entire labor market as well as the redefinition of professional roles and business models within SMEs. The influence of artificial intelligence extends not only to the production process or service delivery but also to the ways in which society as a whole functions. The consequences of artificial intelligence are increasingly visible, making it essential to analyze its impact. All of this is highly relevant for entrepreneurs, managers, and economic policymakers, as it enables them to strengthen their positions in the contemporary economic environment. Without innovation and alignment with current changes, there can be neither survival nor progress. The aim of this paper is to analyze, through a review of relevant literature, how artificial intelligence is transforming the labor market, required skills, and the organization of work, as well as how it influences the global competitiveness of small and medium-sized enterprises in the context of digital transformation and global economic change. Methodologically, the paper is based on an analysis of relevant academic literature and reports from international organizations, as well as an examination of case studies from various sectors and countries. The paper analyzes key concepts related to artificial intelligence, the digital economy, labor market transformation, and competitiveness. It also discusses the position of small and medium-sized enterprises in the global economic system and the challenges these firms face when implementing advanced modern technologies, without which they cannot remain competitive or survive in the market.

Keywords: artificial intelligence, digital transformation, small and medium-sized enterprises, competitiveness.

1. UVOD

Digitalna transformacija je višedimenzionalni fenomen koji ima uticaj na celokupno društvo, ekonomiju i politiku i dovodi do neravnoteže na tržištu. Tradicionalna podela poslova danas sve više gubi svoj značaj. Automatizacija i mašinsko učenje dovode do toga da mašine imaju sposobnost da obavljaju složene kognitivne operacije, koje su ranije bile smatrane samo domenom ljudske inteligencije. Pored eliminacije velikog broja radnih mesta istovremeno se otvaraju mogućnosti za kreiranje nekih novih savremenih profesija. Promene na tržištu rada ogledaju se u tome što je sve veća potražnja za analitičkim i interdisciplinarnim veštinama. Neophodno je preoblikovati obrazovni sistem i programe za obuku i usavršavanje kako ne bi došlo do negativnih socioekonomskih posledica i produbljivanja jaza između kvalifikovanih i nekvalifikovanih radnika.

Mala i srednja preduzeća čine najveći deo registrovanih preduzeća u Evropskoj uniji, najveći broj ljudi je zaposlen u malim i srednjim preduzećima i ona doprinose stabilnosti lokalnih zajednica. Veoma je izražen uticaj veštačke inteligencije upravo na mala i srednja preduzeća jer ona čine stub većine nacionalnih ekonomija. Pregledom relevantne

Suzana Stojković, Akademija tehničko – vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17500 Vranje (imejl: suzana.stojkovic@akademijanis.edu.rs).

akademske literature i analizom studija slučaja iz različitih sektora i zemalja utvrđene su ključne prepreke u primeni veštačke inteligencije u poslovanju malih i srednjih preduzeća i to su: nedostatak stručnih kadrova, ograničeni finansijski resursi, niska digitalna zrelost i otpor zaposlenih prema promenama.

Primena veštačke inteligencije u poslovanju malih i srednjih preduzeća donosi niz prednosti: omogućava predviđanje ponašanja potrošača, personalizovanu komunikaciju sa kupcima i kreiranje personalizovane ponude, automatizaciju administrativnih poslova i optimizaciju lanca snabdevanja. Mogućnosti za sve prethodno navedeno ranije su bile rezervisane samo za velike kompanije sa istraživačkim i razvojnim odeljenjima, dok danas i mala i srednja preduzeća mogu da ostvare sve ove koristi. U cilju sticanja koristi koje sa sobom nosi veštačka inteligencija neophodna je kombinacija eksterne podrške i internih strategija. Strateško uvođenje veštačke inteligencije u mala i srednja preduzeća može značajno da unapredi efikasnost, inovativnost i tržišnu poziciju. Takođe, ključnu ulogu imaju državne institucije i celokupan obrazovni sistem kroz mnogobrojne oblike podrške malim i srednjim preduzećima što im omogućava efikasniju i efektivniju digitalnu transformaciju. Pored svih ekonomskih koristi, takođe su veoma značajni i društveni benefiti, a neki od njih jesu unapređenje obrazovanja, usluga u zdravstvu i javnih usluga što doprinosi kvalitetu života građana i celokupnom životnom standardu.

2. VEŠTAČKA INTELIGENCIJA (AI): POJAM, RAZVOJ I PRIMENE

Veštačka inteligencija obuhvata programe, algoritme, sisteme i mašine sposobne da ispolje oblike ljudskog ponašanja.[1] Obuhvata obradu prirodnog jezika, mašinsko učenje, neuronske mreže, fizičku robotiku i robotsku automatizaciju procesa. [2] U akademskoj literaturi veliki broj autora veštačku inteligenciju definiše kao skup računarskih agenata koji funkcionišu inteligentno, odnosno oni imaju mogućnost da uče, pamte, opažaju i rešavaju konkretne probleme u cilju postizanja optimalnog rezultata. [2]

Za razumevanje uticaja veštačke inteligencije na radnu snagu, organizacije i celokupno društvo, značajna su tri pravca njenog razvoja: [3]

1. Primena implicitnog znanja u velikim razmerama – Veštačka inteligencija koristi i primenjuje neformalno znanje, donosi odluke na osnovu iskustva i pravila i obavlja složene zadatke. Za razliku od ljudi može istovremeno raditi na neograničenom broju instanci.

2. Pojava *foundation* modela – Modeli poput GPT-4, Gemini i Claude Sonnet, koji obuvhvataju velike baze podataka, mogu se koristiti za obavljanje složenih zadataka bez izrade specijalizovanih sistema.

3. AI agenti – Zahvaljujući pojavi foundation modela došlo je do razvoja autonomnih AI agenata, koji samostalno obavljaju složene kognitivne zadatke, od analize podataka do donošenja poslovnih odluka. U budućnosti značajan deo poslova može biti potpuno ili delimično automatizovan zbog čega se AI agenti posmatraju kao novi ekonomski akteri.

Zahvaljujući razvoju interneta, porastu količine podataka i unapređenju algoritama mašinskog učenja veštačka inteligencija je već postala integrisani deo poslovnih procesa.[4] Njen uticaj obuhvata brojne sektore:

- Finansije – veštačka inteligencija omogućava pomoć bankama i finansijskim institucijama u detekciji prevara, upravljanju rizikom i automatizaciji kreditnih poslova.
- Automobilska industrija – u cilju bezbedne vožnje vozila korisite veštačku inteligenciju i njene mreže za obradu podataka sa senzora i kamera.
- Umetnost i zabava – omogućava generisanje umetničkog sadržaja.
- Energetika – alati koje nudi veštačka inteligencija dovode do smanjenja troškova i omogućavaju stabilno snabdevanje čak i u udaljenim oblastima. [5]
- Proizvodnja;
- Trgovina i usluge.

Veliki uticaj na stepen usvajanja veštačke inteligencije ima stepen razvoja zemlje. Zemlje u razvoju imaju infrastrukturna ograničenja i probleme sa nedostatkom kvalifikovanih stručnjaka, dok razvijene zemlje imaju prednosti zbog jače institucionalne podrške i tehničke ekspertize. [6], [7]

Digitalna transformacija ima uticaj na društvo, politiku i ekonomiju i dovodi do neravnoteže na tržištu. Kako bi iskoristile sve prednosti, koje digitalne tehnologije nose sa sobom, neophodno je da kompanije sprovedu strukturne i organizacione promene.

3. UTICAJ VEŠTAČKE INTELIGENCIJE NA TRŽIŠTE RADA

Digitalna ekonomija, koja je zasnovana na primeni informaciono-komunikacionih tehnologija, veštačke inteligencije i digitalnih platformi, ima veliki uticaj na strukturu i dinamiku tržišta rada. Razvoj i primena veštačke inteligencije izazivaju promene na tržištu rada, promene u strukturi zaposlenosti i zahtevima za kompetencijama radne snage.

Automatizacija poslova zasnovanih na rutinskim operacijama dovodi do zamene određenih radnih mesta mašinama i softverskim rešenjima, što dovodi do potencijalnih gubitaka radnih mesta i do negativnih socijalnih posledica, posebno za radnike sa nižim nivoom kvalifikacija. [8] Sa druge strane, veštačka inteligencija istovremeno generiše nove prilike za formiranje novih zanimanja, posebno u oblastima koje zahtevaju napredne digitalne i tehničke veštine. Javlja se potreba za doživotnim obrazovanjem i prekvalifikacijom zaposlenih i menja se profil potrebnih kompetencija na tržištu rada. [9]

Veštačka inteligencija ima veliki uticaj na zarade i zaposlenost jer automatizacija dovodi do veće produktivnosti i ekonomskog rasta, dok u isto vreme produbljuje socijalne nejednakosti. Sve ovo kao posledicu ima povećanje jaza u prihodima i dovodi do sve dubljih socijalnih razlika. [10]

Veštačka inteligencija predstavlja istovremeno i izazov i priliku za tržište rada. Neophodna je efikasna koordinacija između vlada, obrazovnih institucija i privatnog sektora u cilju

maksimizacije potencijalnih koristi, koje donosi veštačka inteligencija i minimizacije njenih negativnih posledica na zaposlenost i društvenu jednakost. Neophodno je i adekvatno definisati etičke i pravne okvire koji regulišu primenu veštačke inteligencije jer se samo tako može obezbediti pravičnost i inkluzivnost u procesu transformacije.[11]

4. DIGITALNA TRANSFORMACIJA I PRIMENA VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U MALIM I SREDNJIM PREDUZEĆIMA

Veliki broj autora se bavi istraživanjem procesa digitalne transformacije i njenog uticaja na mala i srednja preduzeća, kao i na njihovu globalnu konkurentnost. Najnovija istraživanja pokazuju da je ključni faktor konkurentnosti malih i srednjih preduzeća u savremenoj eri veštačke inteligencije digitalna transformacija.

U svom radu [12], autori Hoa i Tuyen su na osnovu istraživanja sprovedenog u Vijetnamu razvili model za procenu spremnosti preduzeća za digitalnu transformaciju, dok su Gonzalez-Varona i dr. [13] razvili model organizacionih kompetencija, koji može pomoći malim i srednjim preduzećima da identifikuju i razviju digitalne kompetencije u cilju napretka u transformaciji. U svom istraživanju [14] autori Sandor i Guban su razvili metodologiju za utvrđivanje pozicije malih i srednjih preduzeća u životnom ciklusu digitalne zrelosti.

Autori Omrani i dr. [15] su na osnovu svog istraživanja sprovedenog nad poslovanjem malih i srednjih preduzeća u EU i van nje zaključili da su pokretači bržeg i lakšeg usvajanja digitalnih tehnologija IT infrastruktura, digitalni alati, odnosno tehnološka osnova i nivo inovativnosti. Prema istraživanju autora Soluk i Kammerlander [16] postoje tri faze digitalne transformacije: digitalizacija procesa, digitalizacija proizvoda i usluga i digitalizacija poslovnog modela.

Mala i srednja preduzeća čine najveći deo registrovanih preduzeća u Evropskoj uniji, najveći broj ljudi je zaposlen u malim i srednjim preduzećima i ona doprinose stabilnosti lokalnih zajednica. Veoma je izražen uticaj veštačke inteligencije upravo na mala i srednja preduzeća jer ona čine stub većine nacionalnih ekonomija.

Pregledom relevantne akademske literature i analizom studija slučaja iz različitih sektora i zemalja utvrđene su ključne prepreke u primeni veštačke inteligencije u poslovanju malih i srednjih preduzeća i to su: nedostatak stručnih kadrova, ograničeni finansijski resursi, niska digitalna zrelost i otpor zaposlenih prema promenama.

Primena veštačke inteligencije u poslovanju malih i srednjih preduzeća donosi niz prednosti:

- omogućava predviđanje ponašanja potrošača,
- personalizovanu komunikaciju sa kupcima i kreiranje personalizovane ponude,
- automatizaciju administrativnih poslova i
- optimizaciju lanca snabdevanja.

Prvi korak u procesu digitalne transformacije jeste kreiranje digitalne strategije. Prilikom kreiranja digitalne strategije neophodna je procena digitalnog okruženja, izbor odgovarajućih tehnologija i planiranje implementacije. S obzirom na to da su promene na tržištu konstante, mala i srednja preduzeća moraju razvijati digitalne kompetencije kako bi prevazišla izazove, uz poseban fokus na bezbednost podataka i privatnost. Digitalne inovacije obuhvataju stratešku primenu digitalnih tehnologija u cilju transformacije poslovnih modela. Potrebno je restrukturirati odeljenja, procese i mehanizme odlučivanja kako bi se omogućila uspešna digitalna transformacija jer ona otvara nove poslovne prilike, jača konkurentnost i poboljšava odnose sa potrošačima. [17]

Strateško uvođenje veštačke inteligencije u mala i srednja preduzeća može značajno da unapredi efikasnost, inovativnost i tržišnu poziciju. Takođe, ključnu ulogu imaju državne institucije i celokupan obrazovni sistem kroz mnogobrojne oblike podrške malim i srednjim preduzećima što im omogućava efikasniju i efektivniju digitalnu transformaciju.

5. UNAPREĐENJE KONKURENTNOSTI MSP UZ PODRŠKU VEŠTAČKE INTELIGENCIJE I BUDUĆNOST RADA

U savremenim uslovima poslovanja, sve značajniji faktor globalne konkurentnosti predstavlja veštačka inteligencija jer dovodi do povećanja produktivnosti, ubrzava inovacije i transformiše tržište [18], [19].

Jedan od ciljeva malih i srednjih preduzeća jeste da se integrišu u globalne lance vrednosti i potencijal za to im pruža veštačka inteligencija kroz poboljšanje operativne efikasnosti i pomoću inovacija. Međutim, problem kod malih i srednjih preduzeća za punu implementaciju veštačke inteligencije predstavljaju nedostatak finansijskih resursa, kvalifikovane radne snage i tehničke infrastrukture i zbog toga je neophodna podrška malim i srednjim preduzećima od strane državne politike kroz finansijske stimulanse, razvoj digitalne infrastrukture i obrazovne programe [20].

Veliki broj zemalja se bori sa problemom nedostatka stručnih kadrova sa odgovarajućim digitalnim kompetencijama. Budućnost rada nam sve više ukazuje na razvoj hibridnih modela, koji kombinuju tradicionalno radno okruženje i rad na daljinu. Koncept doživotnog učenja stvara mogućnost radnicima da se prilagode promenama koje su izazvane veštačkom inteligencijom [21].

Autori Martinez i Chen su u svom radu [22] zaključili da veštačka inteligencija doprinosi personalizaciji usluga i boljem upravljanju zalihama u sektoru maloprodaje, što rezultira većom konkurentnošću malih i srednih preduzeća.

Neophodno je razviti ambijent u kojem će mala i srednja preduzeća usvajati veštačku inteligenciju bez straha da će se naći na margini globalnog tržišta kroz podsticajne programe finansiranja, subvencije za obuku zaposlenih, poreske olakšice i podršku razvoju infrastrukture što će im omogućiti efikasniju i efektivniju digitalnu transformaciju. Implementacija veštačke inteligencije u malim i srednjim preduzećima nije samo tehnološki aspekt, već zahteva i organizacionu i kulturološku transformaciju.

Pored svih ekonomskih koristi, veoma su značajni i društveni benefiti, a neki od njih jesu unapređenje

obrazovanja, usluga u zdravstvu i javnih usluga što doprinosi kvalitetu života građana i celokupnom životnom standardu.

6. ZAKLJUČAK

Zaključci ovog rada ukazuju na to da je višestruki uticaj veštačke inteligencije na transformaciju tržišta rada i konkurentnost malih i srednjih preduzeća. Da bi opstala i bila konkurentna u savremenom informacionom okruženju, mala i srednja preduzeća moraju da prihvate i sprovode digitalne strategije. Javlja se veliki broj mogućnosti, ali i rizika i ključna odrednica jeste na koji način će preduzeća, institucije i pojedine zemlje upravljati procesom implementacije veštačke inteligencije. U cilju korišćenja veštačke inteligencije kao pokretača inkluzivnog i održivog ekonomskog razvoja neophodna je sinergija državnih institucija, akademske zajednice, poslovnih subjekata i celokupnog društva. Treba razviti ambijent u kojem će mala i srednja preduzeća usvajati veštačku inteligenciju bez straha da će se naći na margini globalnog tržišta kroz podsticajne programe finansiranja, subvencije za obuku zaposlenih, poreske olakšice i podršku razvoju infrastrukture.

Rad otvara mogućnosti za nova istraživanja i diskusije o načinima na koje veštačka inteligencija može postati instrument održivog razvoja i digitalne transformacije, sa posebnim osvrtom na konkurentnost malih i srednjih preduzeća u savremenoj globalnoj ekonomiji.

LITERATURA

[1] V. Shankar, „How Artificial Intelligence (AI) is Reshaping Retailing“, Journal of Retailing, vol. 94, pp. vi-xi, 2018, doi: 10.1016/S0022-4359(18)30076-9.

[2] J. Paschen, J. Kietzmann, and T. Kietzmann, “Artificial intelligence (AI) and its implications for market knowledge in B2B marketing”, Journal of Business & Industrial Marketing, 2019.

[3] E. Ide and E. Talamas, „Artificial Intelligence in the Knowledge Economy“, IESE Business School, 2025, arXiv:2312.05481v12.

[4] M. Kureljusic and J. Metz, “The Applicability of Machine Learning Algorithms in Accounts Receivables Management”, Journal of Applied Accounting Research, 2022, doi: 10.1108/JAAR-05-2022-0116.

[5] M. Ma, H. Wang, L. Dong, and X. Liu, “Distributed Energy Management Strategy of Microgrid Based on Master-slave Game”, Journal of System Simulation, vol. 36, no. 4, Art. 5, 2024.

[6] M. Schmidt, N. Glaser, H. Palmer, C. Schmidt, and W. Xing, “Through the lens of artificial intelligence: A novel study of spherical video-based virtual reality usage in autism and neurotypical participants”, Computers & Education: Artificial Intelligence, vol. 4, Art. 100041, 2023, doi: 10.1016/j.cexr.2023.100041.

[7] OECD, OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2021: Times of Crisis and Opportunity, Paris: OECD Publishing, 2021, doi: 10.1787/75f79015-en.

[8] C. B. Frey and M. A. Osborne, “The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?”, Technological Forecasting and Social Change, vol. 114, pp. 254-280, 2017.

[9] J. Bughin, “Why AI isn't the death of jobs”, MIT Sloan Management Review, vol. 60, 2018.

[10] D. Acemoglu and P. Restrepo, “Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor”, Journal of Economic Perspectives, vol. 33, pp. 3-30, 2019, doi: 10.1257/jep.33.2.3.

[11] C. Cath, et al. „Artificial intelligence and the ‘good society’: the US, EU, and UK approach“, Science and Engineering Ethics, 24(2), 505-528, 2018.

[12] N. T. X. Hoa and N. T. Tuyen, “A model for assessing the digital transformation readiness for Vietnamese SMEs”, Journal of Eastern European and Central Asian Research, vol. 8, no. 4, pp. 541-555, 2021, doi: 10.15549/jeecar.v8i4.848.

[13] J. M. González-Varona, A. Lopez-Paredes, D. Poza, and F. Acebes, “Building and Development of an Organizational Competence for Digital Transformation in SMEs”, Journal of Industrial Engineering and Management, vol. 14, pp. 15-24, 2021, doi: 10.3926/jiem.3279.

[14] Á. Sándor and Á. Gubán, “A multi-dimensional model to the digital maturity life-cycle for SMEs”, International Journal of Information Systems and Project Management, vol. 10, pp. 58-81, 2022, doi: 10.12821/ijispm100303.

[15] N. Omrani, G. Rivieccio, U. Fiore, F. Schiavone, and S. Garcia-Agreda, “To trust or not to trust? An assessment of trust in AI-based systems: Concerns, ethics and contexts”, Technological Forecasting and Social Change, vol. 181, Art. 121763, 2022, doi: 10.1016/j.techfore.2022.121763.

[16] J. Soluk and N. Kammerlander, “Digital Transformation in Family-Owned Mittelstand Firms: A Dynamic Capabilities Perspective”, European Journal of Information Systems, vol. 30, 2020, doi: 10.1080/0960085X.2020.1857666.

[17] Hu, Y., Pan, Y., Yu, M. et al, „Navigating Digital Transformation and Knowledge Structures: Insights for Small and Medium-Sized Enterprises“ J Knowl Econ 15, 16311–16344, 2024. https://doi.org/10.1007/s13132-024-01754-x

[18] E. Brynjolfsson and A. McAfee, The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies, New York: W. W. Norton & Company, 2014.

[19] K. Schwab, The Fourth Industrial Revolution, New York: Crown Publishing Group, 2017.

[20] L. S. Zavodna, M. Überwimmer, and E. Frankus, Journal of Economics and Management, vol. 46, pp. 331-352, 2024.

[21] European Commission, A renewed EU agenda for higher education, 2020. Retrieved from https://ec.europa.eu/education/sites/default/files/document-library-docs/education-and-training-monitor-2020_en.pdf (22.08.2025.)

[22] L. Martinez, and S. Chen, „AI adoption in retail SMEs: Customer service automation and inventory management“, International Journal of Retail & Distribution Management, 51(2), 178-195, 2023.

ODRŽIVI STIL ŽIVOTA U FUNKCIJI PROMOCIJE ZDRAVLJA I EKONOMSKOG RASTA: ANALIZA PERCEPCIJA I PRAKSI U REPUBLICI SRBIJI

SUSTAINABLE LIFESTYLE IN THE FUNCTION OF HEALTH PROMOTION AND ECONOMIC GROWTH: ANALYSIS OF PERCEPTIONS AND PRACTICES IN THE REPUBLIC OF SERBIA

Gordana Mrdak, Milica Stanković, Jovana Džoljić i Ljiljana Đorđević

Sadržaj – Održivi stil života postaje sve važniji faktor očuvanja zdravlja i podsticanja ekonomskog razvoja. Cilj rada je da analizira percepcije i prakse stanovnika Republike Srbije u vezi sa održivim navikama i njihovim uticajem na zdravlje. Istraživanje je sprovedeno u avgustu 2025. godine na uzorku od 110 ispitanika, a obuhvatilo je svakodnevne prakse poput ishrane, fizičke aktivnosti, boravka u prirodi, smanjenja otpada, upotrebe plastike i izbora transporta. Rezultati pokazuju da ispitanici najviše vrednuju navike koje imaju direktan efekat na zdravlje: smanjenu konzumaciju prerađene hrane i šećera, češći boravak u prirodi, redovnu fizičku aktivnost i unos svežeg voća i povrća. Sa druge strane, ispitanici sporije usvajaju navike povezane sa održivim transportom, te postoji potreba za dodatnim podizanjem svesti o širem značaju održivog ponašanja. Zaključak rada je da promovisanje održivog stila života treba da bude važan element strategija javnog zdravlja, jer male promene u svakodnevnim rutinama generišu značajne efekte za zdravlje pojedinca, ali i za održivi ekonomski rast. Rezultati istraživanja mogu poslužiti kao osnova za buduće programe edukacije i politike usmerene ka podršci zdravijim i održivijim praksama u Srbiji.

Ključne reči: održivi razvoj, ekonomski rast, javno zdravlje, zdrave navike

Abstract – A sustainable lifestyle is becoming an increasingly important factor in preserving health and encouraging economic development. The aim of the work is to analyze the perceptions and practices of the inhabitants of the Republic of Serbia regarding sustainable habits and their impact on health. The research was conducted in August 2025 on a sample of 110 respondents, and included everyday practices such as diet, physical activity, being in nature, reducing waste, using plastic and choosing transport. The results show that respondents value the habits that have a direct effect on health: reduced consumption of processed food and sugar, more frequent time in nature, regular physical activity and intake of fresh fruits and vegetables. On the other hand, respondents are slower to adopt habits related to sustainable transport, so there is a need for additional awareness raising about the wider importance of sustainable behavior. The conclusion of the work is that promoting a sustainable lifestyle should be an important element of public health strategies, because small changes in daily routines generate significant effects for individual health, but also for sustainable economic growth. The research results can serve as a basis for future education programs and policies aimed at supporting healthier and more sustainable practices in Serbia.

Keywords: sustainable development, economic growth, public health, healthy habits

1. UVOD

U savremenoj stručnoj literaturi sve češće se govori o vezi između zdravlja i održivog razvoja. Razlog je i više nego očigledan: sa jedne strane se suočavamo sa degradacijom životne sredine, dok sa druge strane raste broj ljudi sa zdravstvenim problemima. Koncept "ko-benefita" ukazuje na značaj mera koje istovremeno mogu doprineti zaštiti životne sredine i benefitima po ljudsko zdravlje.

Cilj ovog rada je da istakne kako održive navike doprinose zdravlju. U radu je prikazana analiza i sinteza savremenih teorijskih i empirijskih saznanja, te ukazano na globalne trendove i nacionalne izazove. Nakon pregleda literature, u radu su predstavljeni rezultati istraživanja sprovedenog u avgustu 2025. godine, na uzorku od 110 ispitanika u Republici Srbiji. Rad se fokusira na svakodnevne prakse kao što su izbor transporta, način ishrane, smanjenje otpada i njihova povezanost sa percipiranim zdravstvenim ishodima.

Gordana Mrdak, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: gordana.mrdak@akademijanis.edu.rs).

Milica Stanković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: milica.stankovic@akademijanis.edu.rs).

Jovana Džoljić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: jovana.dzoljic@akademijanis.edu.rs).

Ljiljana Đorđević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: ljiljana.djordjevic@akademijanis.edu.rs).

2. PREGLED LITERATURE

Održivi način života ne tiče se samo pojedinca, imajući u vidu da zdravlje čoveka zavisi i od zdravlja društva i planete. Zbog toga održivi stil života i javno zdravlje treba da budu prioriteti, kako na lokalnom tako i na globalnom nivou. Bez ozbiljne institucionalne podrške teško je očekivati promene [1]. Istraživanja pokazuju da čak 87% Evropljana smatra da mere za ublažavanje posledica klimatskih promena istovremeno mogu doprineti i boljem zdravlju [2]. Sa aspekta mentalnog zdravlja, Svetska zdravstvena organizacija ističe da pristup zelenim površinama i boravak na otvorenom imaju izuzetan značaj. Rezultati istraživanja pokazuju da ljudi koji češće borave u prirodi ređe pate od anksioznosti i depresije [3].

Sa ekonomskog stanovišta, održivi izbori kao što su minimiziranje otpada ili ušteda energije, ne doprinosi samo

smanjenju troškova na nivou domaćinstva, već i smanjenju hroničnih bolesti, što rasterećuje zdravstvene sisteme. Zdrava populacija znači više aktivnih radnika i veću produktivnost, što doprinosi ekonomskom rastu. No ipak, u Evropi samo oko 3% budžeta opredeljenog za zdravstvo ide na prevenciju i promociju zdravlja, dok se ostatak troši na lečenje. Problem rasta hroničnih oboljenja jasno pokazuje da su veća ulaganja u prevenciju i održive navike preko potrebna [4].

Srbija se suočava sa sličnim izazovima. Važan deo javnog zdravlja je i promocija zdravih i održivih stilova života, te je potrebno uložiti dodatne napore u edukaciju građana i prevenciju. Prema Republičkom zavodu za statistiku Srbije, ljudi vide važnost održivog stila života. Ipak, problemi ostaju: neuravnotežena ishrana i nedostatak fizičke aktivnosti i dalje povećavaju rizik od ozbiljnih bolesti. Srbija teži da se uskladi sa evropskim i globalnim standardima, istovremeno poboljšavajući praćenje zdravstvenih indikatora [5]. Uprkos tome, anketa UNDP-a iz 2022. godine pokazala je da je zagađenje vazduha glavna briga građana. Dve trećine ispitanika vidi klimatske promene kao stvarnu pretnju, a više od 80% veruje da su ljudi glavni uzrok tome [2].

3. METODOLOGIJA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

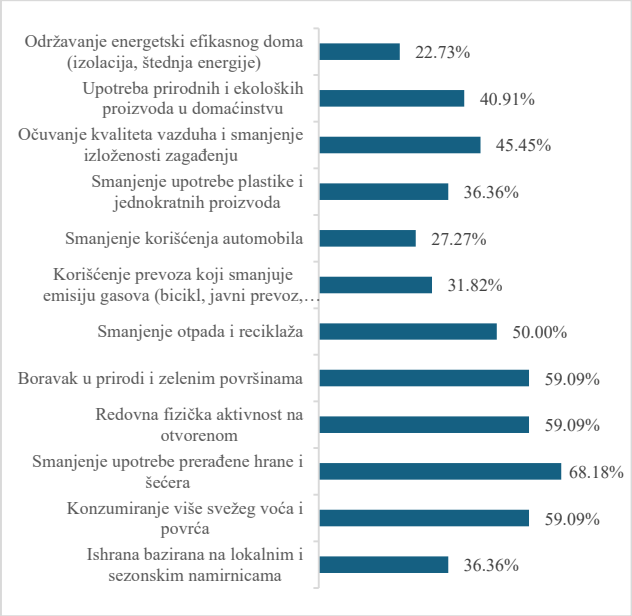
Autori su sproveli istraživanje u avgustu 2025. godine, na uzorku od 110 ispitanika u Republici Srbiji. Upitnik je obuhvatio tri celine: demografske karakteristike ispitanika, navike i prakse povezane sa održivim stilom života (ishrana, fizička aktivnost, boravak u prirodi, smanjenje otpada, upotreba plastike, izbor transporta) i percepcije o uticaju održivih ponašanja na zdravlje. Upitnik je distribuiran putem digitalnih kanala, čime je omogućeno jednostavno i anonimno učešće ispitanika. Prikupljeni podaci obrađeni su deskriptivnom statistikom. Gotovo polovina ispitanika pripada starosnoj grupi od 35 do 44 godine, dok jednu trećinu čine ispitanici uzrasta od 18 do 24 godine. Samo jedna petina ispitanika je muškog pola, dok žene čine gotovo 80% uzorka. Kada je reč o obrazovanju, polovina ispitanika je završila osnovne akademske studije, dok je preostali deo ravnomerno raspoređen između ispitanika sa završenim doktorskim studijama, srednjim obrazovanjem i master studijama. Ovi podaci otvaraju prostor da se u narednim istraživanjima ispita povezanost stepena obrazovanja, pola ili starosti sa percepcijom održivog stila života i njegovim uticajem na zdravlje.

Prema rezultatima, oko dve trećine ispitanika ocenjuje svoje zdravlje kao dobro ili odlično. Ipak, zabrinjava podatak da se više od 40% ispitanika nikada ne bavi fizičkom aktivnošću. Pozitivna je činjenica da više od trećine ispitanika svakodnevno konzumira sveže voće i povrće, dok je tek manje od 10% ispitanika izjavilo da nikada ne konzumira ove namirnice. Navike u kupovini pokazuju da skoro polovina ispitanika bira lokalne i sezonske namirnice. Kada je u pitanju upotreba plastike, četvrtina ispitanika je u potpunosti smanjila njenu upotrebu, isto toliko ne obraća pažnju na ovaj aspekt, dok polovina ispitanika delimično redukuje plastiku u svakodnevici.

Nije ohrabrujuće što 43,5% ispitanika retko boravi u prirodi ili na zelenim površinama. Trećina provodi vreme u prirodi nekoliko puta nedeljno, dok jedna četvrtina to čini svakodnevno. Više od 80% ispitanika smatra da zagađenje vazduha u njihovoj sredini negativno utiče na zdravlje. Takođe, više od 80% ispitanika ističe da održive navike doprinose boljem zdravlju.

Ispitanici su imali mogućnost da označe više održivih navika koje, prema njihovom mišljenju, najviše doprinose očuvanju zdravlja. Kao ubedljivo najznačajniju praksu izdvojili su smanjenje upotrebe prerađene hrane i šećera (68,18%), što pokazuje visoku svest o povezanosti ishrane i zdravstvenih rizika. Odmah zatim, podjednako visoko vrednovane su i navike vezane za boravak u prirodi i na zelenim površinama (59,09%), redovnu fizičku aktivnost na otvorenom (59,09%) i konzumiranje svežeg voća i povrća (59,09%). Ovi rezultati ukazuju da ispitanici najviše prepoznaju one navike koje imaju neposredan i vidljiv uticaj na kvalitet života i fizičko blagostanje.

Polovina ispitanika naglašava značaj smanjenja otpada i reciklaže (50%), dok su nešto ređe pominjane navike koje povezuju zdravlje sa širim ekološkim faktorima, poput očuvanja kvaliteta vazduha i smanjenja izloženosti zagađenju (45,45%) i korišćenja prirodnih i ekoloških proizvoda u domaćinstvu (40,91%). Zanimljivo je da se smanjenje upotrebe plastike i jednokratnih proizvoda (36,36%) i ishrana bazirana na lokalnim i sezonskim namirnicama (36,36%) prepoznaju kao jednako korisne, ali ne spadaju u grupu najvažnijih prioriteta.



Slika 1. Najkorisnije održive navike

Najmanje značaja ispitanici pridaju promenama vezanim za transport, odnosno smanjenju korišćenja automobila (27,27%) i prelasku na prevoz koji smanjuje emisiju gasova (31,82%). Ovakav rezultat može ukazivati na nisku spremnost da se menjaju duboko ukorenjene svakodnevne prakse, naročito one koje podrazumevaju prilagođavanje životnog stila i logistike (Slika 1.).

Rezultati istraživanja pokazuju da ispitanici u Republici Srbiji najčešće prepoznaju značaj smanjenja unosa prerađene hrane i šećera, redovne fizičke aktivnosti i konzumiranja svežeg voća i povrća kao ključnih navika za očuvanje zdravlja. Ovakvi nalazi su u skladu sa međunarodnim preporukama Svetske zdravstvene organizacije koje ističu da upravo povećana konzumacija voća, povrća i integralnih žitarica, uz smanjenje unosa šećera i industrijskih trans-masti, značajno doprinosi smanjenju rizika od hroničnih bolesti i istovremeno podržava održive prehrambene sisteme [6]. Važno je istaći da izbor lokalnih i sezonskih namirnica ima višestruke koristi, od un-apređenja zdravlja i kvaliteta ishrane, do očuvanja biodiverziteta i jačanja lokalne ekonomije, što dodatno potvrđuje potencijal održivog stila života kao faktora ne samo zdravstvene, već i ekonomske održivosti.

Pored zdravstvenih koristi, održive navike ishrane imaju i značajan ekonomski potencijal. Kako ističu Philippi i saradnici [6], promocija lokalnih i sezonskih namirnica ne doprinosi samo zdravlju pojedinaca, već istovremeno jača lokalne proizvodne i tržišne kapacitete, smanjuje troškove transporta i emisije ugljen-dioksida, te podstiče cirkularnu ekonomiju. Na taj način, održivi stil života postaje faktor koji povezuje javno zdravlje i ekonomski rast. Ispitanici u ovom istraživanju, koji u velikom procentu biraju lokalne i sezonske namirnice, potvrđuju da svest o održivosti može postati pokretač i za šire društveno-ekonomske promene, jer se potrošačke prakse direktno odražavaju na razvoj tržišta i očuvanje resursa.

Usvajanje održivih navika, kao što su racionalna potrošnja, smanjenje otpada, energetska efikasnost, korišćenje obnovljivih izvora energije, odgovorna potrošnja hrane i održiva mobilnost, ne samo da čuva prirodne resurse, već istovremeno smanjuje troškove domaćinstava i stvara nove ekonomske prilike. Time održivi stil života postaje ne samo alat za zaštitu životne sredine, već i značajan faktor u smanjenju ekonomskih nejednakosti i jačanju otpornosti društva [7]. Kako naglašava i SZO, zdravlje i blagostanje ne mogu se odvojiti od ekonomskog i društvenog razvoja; naprotiv, održive politike omogućavaju transformaciju društva i otvaraju prostor za inkluzivan rast [1].

Zdravstveni sistemi imaju dvostruku ulogu, oni su temelj dobrobiti građana, ali i značajan generator ekonomskog rasta. U Evropskoj uniji zdravstveni sektor zapošljava oko 8% ukupne radne snage, čime predstavlja značajan oslonac nacionalnih ekonomija. Istovremeno, svaka investicija u zdravlje pokazuje višestruke povrate – procenjuje se da se za svaki uloženi evro vraća 4,3 evra kroz povećanu produktivnost, smanjene socijalne troškove i produženi radni vek stanovništva. Ulaganjem u primarnu zdravstvenu zaštitu i prevenciju se mogu ostvariti izuzetne zdravstvene i ekonomske uštede. Procene pokazuju da bi jačanje primarne zdravstvene zaštite moglo spasiti 60 miliona života i povećati očekivani životni vek za 3,7 godina do 2030. godine. To potvrđuje da promene u ishrani, fizičkoj aktivnosti i svakodnevnim navikama stanovništva ne doprinose samo zdravlju pojedinca, već i smanjenju troškova zdravstvenog sistema i dugoročnom ekonomskom rastu [8]. Za Srbiju, gde su zdravstveni izdaci često posmatrani isključivo kao fiskalni teret, ovakav pristup otvara prostor da se ulaganja u prevenciju i održive zdravstvene politike tretiraju i kao razvojna strategija. Promocija zdravih stilova života, smanjenje nejednakosti u zdravlju i bolji pristup inovacijama ne znače samo rasterećenje sistema, već i dugoročno jačanje ljudskog kapitala, što je preduslov za održivi ekonomski rast [4] [9].

4. ZAKLJUČAK

Zaključak koji se može izvesti jeste da ispitanici jasno prepoznaju direktnu vezu između ishrane, fizičke aktivnosti i boravka u prirodi sa zdravljem, dok su ekološke i transportne navike nešto potisnutije u percepciji njihovog značaja. To otvara prostor za dodatne edukativne programe i kampanje koje bi naglasile širi uticaj održivih praksi na dugoročno očuvanje zdravlja, a ne samo na trenutno fizičko stanje.

Rezultati sprovedenog istraživanja pokazuju da prakse kao što su aktivan transport, održiva ishrana, smanjenje otpada i boravak na zelenim površinama imaju višestruke koristi za pojedinca i društvo. Održive navike koje su navedene kao najkorisnije su: konzumiranje manje prerađene hrane i šećera, više svežeg voća i povrća, fizičku aktivnost i boravak u prirodi. Održivi način života trebalo bi da bude ključni element strategija za promociju zdravlja. Rezultati daju sliku o percepcijama i ponašanju ispitanika iz Srbiji kada je reč o održivom načinu života i nude smernice za buduće inicijative koje teže zdravijem životu. Male promene u svakodnevnim navikama, čak iako mogu izgledati marginalno, generišu značajne efekte za javno zdravlje, ali i održivi privredni rast.

LITERATURA

[1] World Health Organization (WHO), E4As Guide for Advancing Health and Sustainable Development: Resources and Tools for Policy Development and Implementation. Geneva: WHO, 2021.

[2] UNDP, "Healthy environment important priority for citizens of Serbia," United Nations Development Programme. https://www.undp.org/serbia/news/healthy-environment-important-priority-citizens-serbia , Pristupljeno: 01.09.2025.

[3] World Health Organization (WHO), Health is the Argument for Climate Action: COP29 Special Report on Climate Change and Health. Geneva: WHO, 2024.

[4] European Parliament, Sustainability of Health Systems. Policy Department for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, Brussels, 2018.

[5] Republički zavod za statistiku (RZS), Istraživanje zdravlja stanovništva Srbije 2019. godine. Beograd, 2021.

[6] S. T. Philippi, R. de C. Aquino, E. A. F. da S. Torres, and A. C. B. Leme, "Healthy lifestyle and sustainable behav-iors: A proposal for the food pyramid in the Brazilian context," Nutrition, vol. 135, p. 112771, 2025.

[7] S. Akhtar, "Sustainable lifestyle: A path towards environmental sustainability and sustainable development," Man-agement Journal for Advanced Research, vol. 3, no. 4, pp. 50–53, 2023.

[8] World Health Organization, "Universal health coverage (UHC)," WHO Fact Sheet: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/universal-health-coverage-%28uhc%29 , Pristupljeno: 11.11.2025.

[9] M. Jones, A. Valentino, R. Castro, M. Fernandes, and J. McGuinn, Sustainability of Health Systems. Policy Depart-ment for Economic, Scientific and Quality of Life Policies, European Parliament, PE 619.029, 2018.

IZMEĐU DVA KONCEPTA: SLIKARSKE VIZIJE U ARHITEKTURI
BETWEEN TWO CONCEPTS: PICTORIAL VISIONS IN ARCHITECTURE

Bojana Nikolić, Dragana Dragutinović i Mirko Stanimirović

Sadržaj – Odnos slikarstva i arhitekture kroz istoriju umetnosti razvijao se u kontinuitetu međusobnog prožimanja i uticaja. Od antičkih i vizantijskih spojeva slike i prostora, preko renesansne usaglašenosti proporcija i perspektive, do barokne eksplozije svetlosti i pokreta, ove umetnosti dele zajedničke likovne principe. U modernom dobu, posebno u okviru avangardnih pokreta, granice između njih sve više nestaju, čime se uspostavlja novi koncept vizuelne i prostorne sinteze. Polazište istraživanja zasniva se na tezi da likovni elementi i principi kompozicije ne predstavljaju dekorativni aspekt arhitekture, već suštinski utiču na njenu formu, prostornu organizaciju i estetsku percepciju. Metodološki okvir rada utemeljen je na komparativnoj analizi stvaralaštva Le Korbizjea, Zahe Hadid i Stivena Hola, čiji opusi reprezentuju različite modele transformacije slikarskih principa u arhitektonski izraz. Le Korbizje integriše slikarstvo u svoju arhitektonsku teoriju i praksu; Zaha Hadid iz apstraktnih kompozicija razvija nove prostorne koncepte; dok Stiven Hol koristi akvarel kao instrument za istraživanje svetlosti, boje i atmosfere. Rezultati istraživanja pokazuju da primena likovnih principa u arhitekturi ne samo da obogaćuje vizuelni identitet građevina, već i transformiše način na koji se prostor doživljava i koristi. Zaključuje se da integracija slikarstva i arhitekture doprinosi širem razumevanju arhitekture kao vizuelne i ekspresivne umetnosti.

Ključne reči: slikarstvo, arhitektura, likovni elementi, prostor, sinteza umetnosti

Abstract – The relationship between painting and architecture throughout the history of art has evolved through a continuous process of mutual interpenetration and influence. From the synthesis of image and space in antiquity and Byzantium, through the Renaissance harmony of proportion and perspective, to the Baroque expression of light and movement, these arts share common visual principles. In the modern era, particularly within the avant-garde movements, the boundaries between them increasingly dissolve, establishing a new concept of visual and spatial synthesis. The research is based on the thesis that visual elements and principles of composition do not represent a decorative aspect of architecture but fundamentally shape its form, spatial organization, and aesthetic perception. The methodological framework of the paper is founded on a comparative analysis of the work of Le Corbusier, Zaha Hadid, and Steven Holl, whose creative approaches illustrate different models of transforming pictorial principles into architectural expression. Le Corbusier integrates painting into his architectural theory and practice; Zaha Hadid develops new spatial concepts from abstract compositions; while Steven Holl employs watercolor as a tool for exploring light, color, and atmosphere. The results of the research indicate that the application of visual principles in architecture not only enriches the visual identity of buildings but also transforms the way space is perceived and experienced. It is concluded that the integration of painting and architecture contributes to a broader understanding of architecture as a visual and expressive art form.

Keywords: painting, architecture, visual elements, space, synthesis of arts

1. UVOD

Kroz istoriju umetnosti, odnos između slikarstva i arhitekture razvijao se kao stalni proces međusobnog uticaja i prepletanja, pri čemu su se granice između tih umetnosti neprestano menjale i preispitivale. U antičkim civilizacijama, naročito u grčkim hramovima i rimskim vilama, zidno slikarstvo nije bilo samo dekorativni element, već je pratilo arhitektonsku strukturu, dopunjujući prostor iluzionističkim prikazima koji su proširivali stvarnost. Freske u Pompeji, na primer, svedoče o ranoj svesti o povezanosti slike i prostora; o načinu na koji boja, kompozicija i perspektiva mogu da oblikuju prostorni doživljaj.

Bojana Nikolić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: bojana.nikolic@akademijanis.edu.rs).

Dragana Dragutinović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: dragana.dragutinovic@akademijanis.edu.rs).

Mirko Stanimirović, GAF, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš (imejl: mirko.stanimirovic@gaf.ni.ac.rs).

Vizantijska umetnost uspostavlja jedinstvo arhitekture i slike kroz sakralnu simboliku. Šire gledano, mozaici i freske nisu samo ukrasi zidova, već integralni deo duhovnog prostora, čineći svetlost i refleksiju materijalnim nosiocima božanskog prisustva. U gotičkim katedralama ta sinteza se nastavlja kroz vitraže, gde se boja i svetlost stapaju sa složenim prostornim strukturama, stvarajući utisak nematerijalnosti i transcendencije. Renesansa donosi racionalizaciju tog odnosa kroz naučno zasnovanu perspektivu i proporciju. Slikarstvo i arhitektura tokom renesanse dele zajedničke principe kompozicije- harmoniju, proporcije, ravnotežu, čime se estetsko iskustvo povezuje s humanističkim idealima. Barok menja tu ravnotežu dinamikom pokreta, dramom svetlosti i senke, u baroku oba medija teže iluziji i emocionalnom intenzitetu.

Sa pojavom moderne i avangardnih pokreta, granice između slikarstva i arhitekture počinju da se brišu. Slikarstvo više ne prikazuje prostor, već ga istražuje; arhitektura više ne gradi samo materijalni okvir, već postaje nosilac vizuelnog izraza. U pojedinim pravcima, poput kubizma, konstruktivizma i neoplasticizma, likovni principi – linija, boja, kompozicija i tekstura – uzdignuti su na nivo osnovnih

arhitektonskih elemenata. Arhitektura se tada shvata kao proširena slika, kao trodimenzionalni medij koji oblikuje prostor kroz vizuelne ritmove, koloristične naglaske i apstraktne kompozicione odnose.

Istovremeno, druge škole arhitekture, naročito funkcionalističke i racionalističke, naglašavaju konstruktivnost, tehnologiju i utilitarnost. U tim pristupima, uloga slikarskih elemenata svedena je na minimum, a dekorativnost je često smatrana suvišnom. Takvo suprotstavljanje: između veličanja vizuelnog izraza i insistiranja na njegovom potiskivanju, oblikovalo je raznovrsne teorijske i praktične tokove arhitekture 20. veka.

Ova polarizacija otvara pitanje identiteta arhitekture: da li je ona pre svega inženjerska disciplina, ili umetnički čin u kojem forma, boja, svetlost i materijalnost stvaraju estetsko iskustvo ravnopravno sa slikarskim izrazom? Upravo u toj tenziji leži ključ razumevanja razvoja modernih arhitektonskih stilova, od Bauhausa do savremenih postdigitalnih tendencija.

Kroz istoriju, dijalog između slike i prostora pokazuje da arhitektura nikada nije bila izolovana od vizuelne umetnosti. Ona uvek iznova preispituje odnos između materijalnog i imaginarnog, između konstrukcije i kompozicije, dok slikarstvo nudi jezik kroz koji arhitektura može izraziti atmosferu, emociju i ideju.

2. METODOLOGIJA

Motivacija za ovo istraživanje proističe iz potrebe da se uspostavi jasniji i sveobuhvatniji okvir za razumevanje odnosa između slikarstva i arhitekture, kao i da se sagleda umetnička sinergija koja nastaje kada se ta dva medija prožimaju. Posebno je značajno ispitati okolnosti u kojima arhitekt istovremeno nastupa i kao slikar, ili kada u svoj profesionalni rad svesno integriše likovne principe. Ovakav pristup omogućava proširenje tradicionalnog shvatanja arhitekture, prevazilazeći njeno uobičajeno tumačenje kao discipline koja se temelji na tehničkim, konstruktivnim i funkcionalnim parametrima, otvarajući mogućnost da se arhitektura sagleda i kao vizuelna umetnost u punom smislu te reči.

Metodološki okvir ovog istraživanja zasniva se na komparativnoj analizi opusa trojice izuzetnih i stilski veoma različitih arhitekata savremene epohe: Le Korbizjea, Zahe Hadid i Stivena Hola. Izbor ovih autora nije slučajan, jer svaki od njih na specifičan način demonstrira kako se slikarski senzibilitet može pretočiti u arhitektonski jezik i na koji način vizuelno iskustvo utiče na oblikovanje prostora. Analiza uključuje višeslojna vizuelna poređenja, stilsku interpretaciju i tumačenje njihovih odabranih dela, pri čemu se posebno ispituje na koji način se likovni principi reflektuju u formiranju prostora, u organizaciji volumena, u načinu na koji svetlost strukturira i dinamizuje arhitektonske površine, kao i u percepciji kretanja i ritma u prostoru.

3. LE CORBIZJE (LE CORBUSIER)

U stvaralačkom opusu Le Korbizjea se jasno uočava direktna veza sa slikarskim stvaralaštvom, koje je bilo integralni deo njegovog umetničkog razvoja i teorijskog mišljenja. Kao aktivni slikar, verovao je da je slikarstvo ključno za razvoj njegovih arhitektonskih ideja. Njegovi murali, vitraži i slike unutar samih objekata čiji je autor pokazuju direktan spoj slikarstva i arhitekture. Njegovo slikarstvo, razvijano paralelno s arhitektonskim radom zasniva se na ideji čistih oblika i racionalne harmonije (purizam i kubizam). U slikama se javlja redukovana paleta, geometrijske strukture i jasno definisani odnosi proporcija, bez emotivnog gestualizma kubizma. Cilj je bio prikazati esenciju predmeta kroz pročišćenu, logičku formu — isto kao što će u arhitekturi težiti ka „mašini za stanovanje“. Motivi njegovih slika (flaše, muzički instrumenti, čaše, ljušture, arhitektonske mase) postaju vizuelni ekvivalenti reda i konstrukcije. U njima se može prepoznati ritam, ravnoteža i svetlost, koje će kasnije oblikovati njegove projekte poput Vile Savoj (Villa Savoye) ili kapije katedrale u Ronšanu (Ronchamp), u koju je direktno postavljena Korbizjeova slika u ulozi portala. (Slika 1). Poseban utisak u enterijeru ostavlja igra svetlosti koja sa južne strane dopire u katedralu kroz vitraže. Korbizjeov slikarski opus nije prateća aktivnost, već teorijska osnova njegove arhitekture – prostor gde se ideje o proporciji, strukturi i vizuelnoj jasnoći najpre rađaju na platnu, pre nego u betonu. Smatrao je da su slikarstvo i arhitektura su sestrinske umetnosti: jedno daje boju formi, drugo daje formu boji [1].



Slika 1. Kapija Notre-Dame-du-Haut (Ronchamp), 1955. Slika kao deo arhitektonske konstrukcije

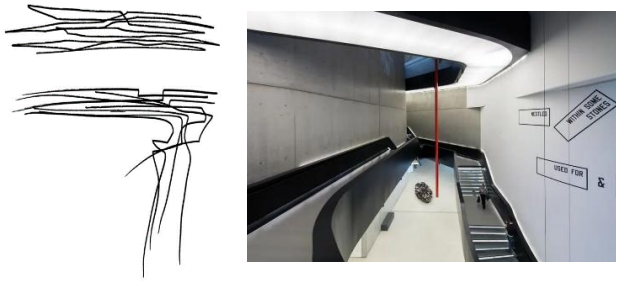


Slika 2. Vitraži u Notre-Dame-du-Haut (Ronchamp), 1955. Svetlosni otvori formiraju prostornu sliku.

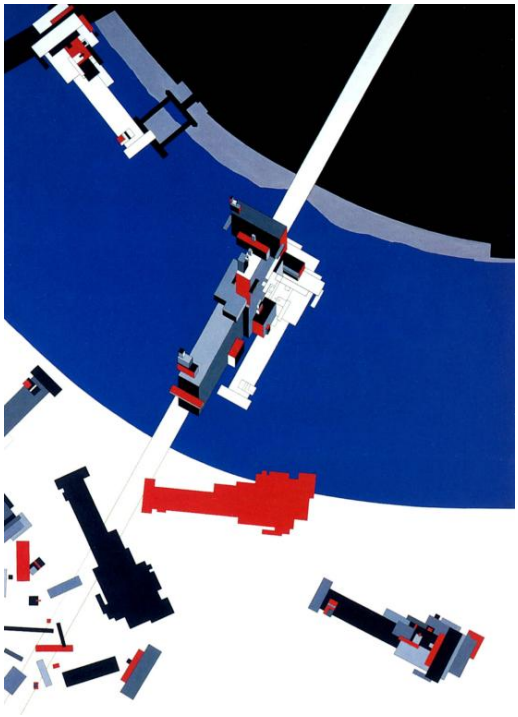
4. ZAHA HADID

Kod Zahe Hadid se slikarski princip pojavljuje u vidu ekspresivnih i dinamičnih apstraktnih kompozicija, crteža i slika koji su kasnije postali polazište za njene inovativne prostorne koncepte [2]. Njeni apstraktni pejzaži (Slika 4), inspirisani ruskim suprematizmom i konstruktivizmom nisu bili samo projektna dokumentacija, već samostalna umetnička dela koja su često izlagana u galerijama. Hadid je koristila slikarstvo kao alat za istraživanje arhitektonskih ideja, stvarajući slike koje su bile deo njenog kreativnog procesa. U intervjuu iz 2006. godine, Hadid ukazuje na svoj stav prema odnosu između slikarstva i arhitekture kroz kontekst da joj slikarstvo služi kao sredstvo istraživanja arhitektonskog prostora [3]. Ovaj citat otkriva ključnu dinamiku u razmišljanju Zahe Hadid: slikarstvo ne shvata kao nezavisnu umetničku disciplinu već kao instrument koji omogućava istraživanje arhitektonskog prostora. Interesantno je da ona opisuje arhitekturu kao nešto što ne treba biti „lepo“ u klasičnom smislu, već „sirovo, vitalno, zemljano“ [3] – što implicira da vizuelni i materijalni kvaliteti (boja, tekstura, forma) igraju podjednako važnu ulogu kao i konstruktivna ili funkcionalna . Ovo podupire tezu da za Hadid slikarstvo i arhitektura nisu odvojene discipline nego dva aspekta jedne sintetičke prakse, gde principi likovne kompozicije ulaze u arhitektonski proces kao vodeći elementi. Takav pristup prevazilazi tradicionalnu podelu na „ukrasno slikarstvo“ i „čistu arhitekturu“, te pokazuje kako arhitekta može koristiti slikarski način razmišljanja da oblikuje prostor.

Slikarske kompozicije koje Zaha Hadid integriše u arhitekturu muzeja MAXXI u Rimu (Slika 3) predstavljaju prostorno proširenje njenih ranih slikarskih eksperimenata. U ovom muzeju, linije, površine i boje ne funkcionišu kao dekorativni elementi (kao što je to slučaj na Korbizjeovim delima), već kao dinamički elementi prostora – nalik apstraktnim slikama prevedenim u trodimenzionalnost. Zidovi i plafoni se savijaju, prelamaju i stapaju, stvarajući utisak da je posetilac ušao u sliku. Svetlo i senka modeluju površine poput poteza četkicom, dok beton i staklo preuzimaju ulogu slikarske podloge. Na taj način, MAXXI postaje sinteza njenih ranih slikarskih kompozicija inspirisanih suprematizmom i dekonstukcijom, arhitektura kao materijalizovana apstraktna slika, gde se pojam platna širi na čitav prostor.



Slika 3. *Zaha Hadid, MAXXI muzej (Rim), 2009.- prostorno razlivanje linija i oblika kao sa platna u realan prostor.*

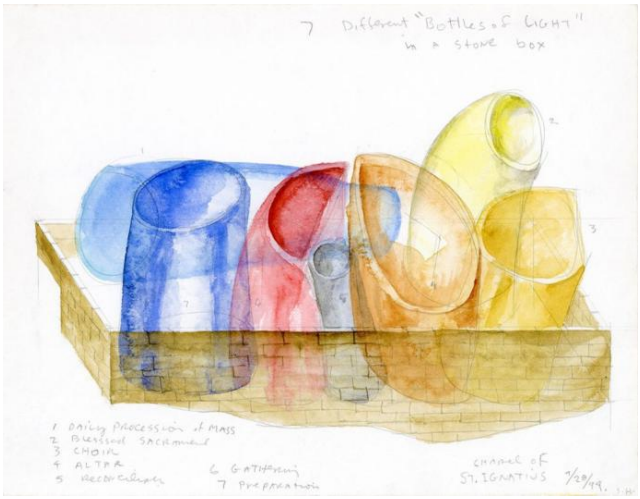


Slika 4. *Zaha Hadid, Horizontal tektonik, London, 1976. Suprematistički urbanizam*

5. STIVEN HOL (STEVEN HOLL)

Stiven Hol, sa druge strane, pokazuje izrazitu sklonost ka istraživanju svetlosti i boje, gde akvarel i skica nisu samo pripremna faza projektovanja, već i nezamenljiv alat u oblikovanju arhitektonske atmosfere i narativa. U izrazito slikarskoj tehnici Hol razmišlja o prostoru, svetlosti, materijalima, bojama i atmosferi. Fluidnost akvarela nosi potencijal iskre koja omogućava da se ideje intuitivno pojave (Slika 5). Planovi, strukture, oblici i fasade dolaze kasnije (Slika 6). Prateći njegove projekte paralelno sa skicama koje su vezane za njih, postaje jasno kako se akvareli pretvaraju u zgrade. Arhitektura i slikarstvo dele zajedničko tlo: oblikovanje percepcije kroz svetlost, boju i prostor.“ Fluidnost akvarela nosi potencijal iskre koja omogućava da se ideje intuitivno pojave. Planovi, strukture, oblici i fasade dolaze kasnije. “Akvarel je most između imaginacije realnosti-način da se predstavi prostor, svetlost i osećaj - pre nego da bude izgrađen i jedan zid“. [4]

Kod Stivena Hola slikarstvo ima suštinsku ulogu u oblikovanju arhitektonskog mišljenja, njegovi akvareli nisu ilustracije zgrada, već misaoni modeli u kojima se istražuju svetlost, boja i prostor kao nematerijalne sile. Kroz te slikarske studije Hol ispituje atmosferske kvalitete, prelaze svetlosti i fluidnost granica, koje kasnije pretvara u arhitektonske strukture. U njegovim zgradama, poput kapelle Sv. Ignjacija (Chapel of St. Ignatius) ili Kiasma muzeja, prepoznaje se akvarelska logika prozirnosti i svetlosnih slojeva, gde materijal postaje medijum za slikanje svetlom. Na taj način, Holov rad pokazuje kako se arhitektura može roditi iz slikarske intuicije kao prostorna poezija boje i svetlosti, u kojoj crtež postaje prva manifestacija ideje prostora.



Slika 5. *Stiven Hol, Skica za kapelu sv. Ignjacia u Sijetlu*

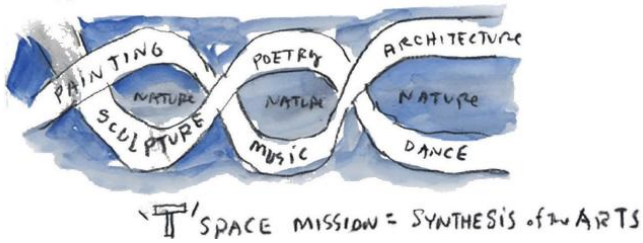


Slika 6. *Stiven Hol, Kapela sv. Ignjacia u Sijetlu, 1997.*

6. ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja ukazuju na to da likovni principi kompozicije ne funkcionišu samo kao estetski dodaci arhitektonskoj formi, već da imaju potencijal da duboko transformišu način na koji se prostor doživljava i koristi. Oni utiču na kreiranje inovativnih prostornih rešenja, na formiranje specifične atmosfere, kao i na konstruisanje vizuelnog identiteta građevina. Pored toga, analizom se pokazuje da likovni principi oblikuju percepciju kretanja, ritma i ravnoteže u prostoru, stvarajući dinamiku koja korisnika uvodi u jedinstveno iskustvo prostora. Ovakvi efekti ukazuju na složen odnos između vizuelnog i prostornog, koji prevazilazi puko formalno rešenje i dotiče dublje nivoe estetskog i perceptivnog doživljaja. Diskusija koja proizlazi iz analize pokazuje da likovni principi mogu poslužiti kao ključ za razumevanje arhitekture ne samo kao fizičke i funkcionalne strukture, već i kao narativne i ekspresivne umetničke prakse.

Zaključak rada naglašava potrebu za intenzivnijim i sistematičnijim interdisciplinarnim istraživanjem odnosa između slikarstva i arhitekture u toku obrazovnog procesa budućih arhitekata. Kao doprinos, predlaže se model koji slikarstvo pozicionira ne samo kao izvor inspiracije, već i kao metodološki okvir sposoban da obogati i proširi kreativne horizonte savremene arhitektonske prakse. Na ovaj način, arhitektura se prepoznaje kao polje u kojem vizuelno i prostorno nisu odvojene kategorije, već međusobno isprepletani aspekti jedinstvenog umetničkog izraza. Takvo stanovište doprinosi širem razumevanju umetničkih izvora arhitekture i otvara mogućnosti za nove pristupe projektovanju, u kojima se kompozicija, boja i forma stapaju sa prostorom u integralnu i koherentnu celinu (Slika 7).



Slika 7. *Stiven Hol Architects, ilustracija Sinteza umetnosti*

LITERATURA

[1] Le Corbusier, Towards a New Architecture, New York: Dover Publications, INC, 1931.

[2] Zaha Hadid Architects: Evolution, A text+work Publication, Arts University Bournemouth, 2018.

[3] Glancey, J, *I don't do nice*, 2006. [Online] Dostupno na: https://www.theguardian.com/artanddesign/2006/oct/09/architecture.communities?utm_source=chatgpt.com

[4] S. Hall, Parallax, New York: Princeton Architectural Press, 2000.

[5] Steven Holl Architects, [Online] Dostupno na: https://www.stevenholl.com/

PRIMENA DSC METODE U ODREĐIVANJU KINETIČKIH PARAMETARA OKSIDACIJE I TERMOOKSIDATIVNE STABILNOSTI ULJA SEMENA SUSAMA U FUNKCIJI ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE

APPLICATION OF THE DSC METHOD IN THE DETERMINATION OF KINETIC PARAMETERS OF OXIDATION AND THERMO-OXIDATIVE STABILITY OF SESAME SEED OIL IN THE FUNCTION OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

Milan Đorić

Sadržaj – Oksidacija ulja jedan je od ključnih procesa koji određuje njihovu stabilnost, nutritivni kvalitet i bezbednost, a posebno je značajna kod biljnih ulja koja se često koriste u ishrani i preradi. Cilj ovog rada bio je da se primenom DSC analize odrede kinetički parametri oksidacije i termooksidativna stabilnost ulja semena susama, uz hipotezu da se različite neizotermalne metode (KAS, Kissinger i OFW) mogu koristiti za pouzdanu procenu reakcione kinetike. Eksperimentalni deo rada obuhvatio je analizu uzoraka pri brzinama zagrevanja od 5, 10, 15 i 20 °C/min, pri čemu su određene temperature T_{on}, T_p i T_{off}, a zatim izračunati parametri kao što su energija aktivacije, predeksponencijalni faktor, konstanta brzine reakcije i poluvreme oksidacije. Rezultati pokazuju da energija aktivacije zavisi od faze proce sa, pri čemu vrednosti određene na osnovu T_{on} ukazuju na energetsku zahtevnost inicijalne faze oksidacije, dok niže vrednosti izračunate na osnovu T_p potvrđuju postojanje kasnije faze reakcije. Na osnovu dobijenih kinetičkih pokazatelja može se zaključiti da ulje semena susama poseduje stabilnost uporedivu sa drugim biljnim uljima, čime se pružaju korisne smernice za skladištenje, tehnološku primenu i buduća istraživanja u oblasti hemijske kinetike i zaštite životne sredine.

Ključne reči: DSC analiza, kinetika reakcije, oksidacija ulja, susamovo ulje, termooksidativna stabilnost.

Abstract – Oxidation of oils is one of the key processes that determines their stability, nutritional quality and safety, and is especially important for vegetable oils that are often used in food and processing. The aim of this work was to determine oxidation kinetic parameters and thermo-oxidative stability of sesame seed oil using DSC analysis, with the hypothesis that different non-isothermal methods (KAS, Kissinger and OFW) can be used for reliable evaluation of reaction kinetics. The experimental part of the work included the analysis of samples at heating rates of 5, 10, 15 and 20 °C/min, where the temperatures T_{on}, T_p and T_{off} were determined, and then parameters such as activation energy, pre-exponential factor, reaction rate constant and oxidation half-time were calculated. The results show that the activation energy depends on the stage of the process, where values determined based on T_{on} indicate the energy requirement of the initial oxidation phase, while lower values calculated based on T_p confirm the existence of a later reaction phase. Based on the obtained kinetic indicators, it can be concluded that sesame seed oil has a stability comparable to other vegetable oils, which provides useful guidelines for

Keywords*:* DSC analysis, reaction kinetics, oil oxidation, sesame oil, thermo-oxidative stability.

1. UVOD

Stabilnost ulja tokom skladištenja, prerade i kulinarske upotrebe jedno je od ključnih pitanja kako u prehrambenoj tehnologiji, tako i u oblasti zaštite životne sredine. Oksidacija predstavlja glavni mehanizam degradacije ulja, dovodeći do promene nutritivne vrednosti, pojave neželjenih aroma, kao i formiranja potencijalno štetnih jedinjenja. Iz tog razloga, razumevanje kinetike oksidacionih procesa i precizno određivanje parametara koji ih opisuju od suštinskog je značaja za procenu upotrebne vrednosti ulja i njihovog bezbednog tehnološkog rukovanja. Ulje semena susama, široko prisutno u ishrani i industriji, pokazuje specifične osobine vezane za svoj sastav masnih kiselina, zbog čega njegova oksidativna stabilnost zavisi od niza faktora, među kojima su temperatura, prisustvo kiseonika i način prerade.

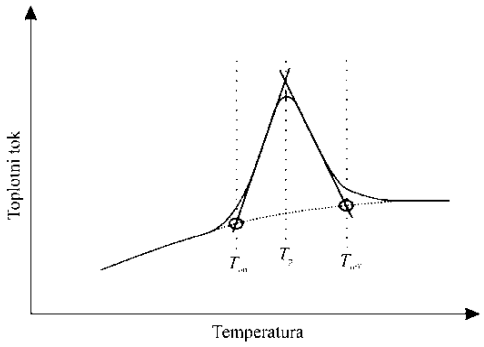
Diferencijalna skenirajuća kalorimetrija (DSC) poslednjih decenija predstavlja jednu od najsavremenijih tehnika za ispitivanje termičkih i oksidacionih procesa u uljima.

Njena primena omogućava analizu promena u funkciji temperature, kao i određivanje ključnih tačaka koje su osnova za izračunavanje kinetičkih parametara oksidacije, poput energije aktivacije, predeksponencijalnog faktora, konstante brzine reakcije i poluvremena oksidacionog procesa. Primena neizotermalnih metoda poput Kissinger, KAS i OFW pristupa dodatno doprinosi razumevanju dinamike oksidacije, nudeći mogućnost poređenja rezultata između različitih uslova i sistema.S obzirom na ograničen broj dostupnih podataka u literaturi o kinetičkim parametrima oksidacije ulja semena susama, istraživanja ovog tipa pružaju važne informacije za industrijsku primenu, naučnost i bezbedno upravljanje kvalitetom prehrambenih proizvoda [1]. Na tim osnovama zasniva se i ovaj rad, koji proučava termooksidativnu stabilnost ulja semena susama primenom DSC metode u cilju produbljivanja razumevanja procesa oksidacije i doprinosa unapređenju postojećih znanja.

Milan Đorić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija-Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17500 Vranje (imejl: milan.djoric@akademijanis.edu.rs)

2. EKSPERIMENTALNI DEO

Za analizu ulja susama DSC analizom izmereno je oko 3±0,5 mg ulja u aluminijumske čuniće. Čunići su zatvoreni pomoću prese, postavljeni na platformu za uzorke u ćeliji DSC i ulje analizirano u neizotermskim uslovima tako što je ulje zagrevano u opsegu temperature od 25 °C do 450 °C, pri različitim brzinama zagrevanja i to 5, 10, 15 i 20 °C min-1. Kao referentni korišćen je prazan zatvoreni aluminijumski čunić. U ispitivanim sistemima termičke promene pratile su se primenom diferencijalnog skenirajućeg kalorimetra TA Instruments Q20 (USA), uz analizu podataka u softveru TA Universal Analysis (Srbija). Iz dobijenih DSC dijagrama izdvojene su karakteristične vrednosti, među kojima su temperatura početka reakcije (T_{on}), maksimalna tačka egzotermnog pika (T_p) i temperatura na kojoj se proces završava (T_{off}). Tačke T_{on} i T_{off} određivane su tako što je tangenta na nagib egzotermnog pika presecanjem sa ekstrapolisanom baznom linijom definisala njihove položaje, dok je T_p identifikovana na mestu gde pik dostiže svoj najveći intenzitet.



Slika 1. *Odredjivanje karakterističnih tačaka T_{on}, T_p i T_{off} T_p na DSC piku* [1]

Na osnovu dobijenih vrednosti za T_{on} i T_p sračunati su kinetički parametri: energija aktivacije (Ea, KJ), predeksponencijalni faktor A (min-1), konstanta brzine reakcije (k, min-1) i poluvreme oksidacione reakcije, $\tau_{\frac{1}{2}}$ (meseci, dani ili minuti). Za odredjivanje kinetičkih parametara korišćene su tri metode i to metoda po Kissingeru (na osnovu temperature početka osksidacije - T_{on}), Kissinger-Akahira-Sunose metoda (KAS) (na osnovu temperature maksimuma pika - T_p) i Oyawa-Flyn-Walt metoda (OFW) (na osnovu T_{on} i T_p). Izračunavanje energije aktivacije i predeksponencijalnog faktora za oksidaciju ulja, u okviru KAS metode, zasniva se na vrednostima temperature T_{on}. Ovi parametri dobijaju se primenom jednačina, pri čemu se koristi linearna regresija odnosa $ln\frac{\beta_i}{T_{on}^2}$ u zavisnosti od recipročnih vrednosti temperature T_{on} [2]:

$$a = -\frac{E_a}{R}, \quad (1)$$

$$b = ln\left(\frac{A \cdot R}{E_a}\right), \quad (2)$$

gde je a R univerzalna gasna konstanta ($8{,}314\ J/mol\ K$).

Na osnovu dobijenih vrednosti za energiju aktivacije i predeksponencijalog faktora, konstanta brzine reakcije oksidacije ulja sračunata je pomoću Arenijusove jednačine kao [3]:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (3)$$

a poluvreme reakcije oksidacije kao:

$$\tau_{\frac{1}{2}} = \frac{ln2}{k}, \quad (4)$$

Metodom po Kissingeru kinetički parametri odredjeni su na osnovu jednačina i podataka linearne regresije $ln\frac{\beta_i}{T_{2p}}$ u funkciji $\frac{1}{T_p}$ [4]. Primenom OFW metode kinetički parametri sračunati su na osnovu linearne regresije log β u funkciji $\frac{1}{T_{on}}$ (ili $\frac{1}{T_p}$). [4]

2.1. Određivanje oksidativnog indukcionog vremena procesa oksidacije ulja susama u neizotermalnim usolvima

Za sračunavanje oksidativnog indukcionog vremens (oxidation induction time, OIT) korišćena je jednačina [3]:

$$OIT = A\, e^{-DT}, \quad (5)$$

gde su A i D varijabilni ne-Arenijusovi kinetički parametri

Varijabilna vrednost D dobijena na osnovu odgovarajućih matematičkih transformacija, primenom programa Microsoft Office Excel 2007 i softerskog paketa JMP 16 Pro, jednačine zavisnosti T_{on} (ili T_p) oblika $T = a \cdot ln\,\beta + b$ u oblik:

$$T = \frac{1}{D} ln(B \cdot D \cdot \beta + 1), \quad (6)$$

gde je varijabilna vrednost B sračunata na osnovu jednačine:

$$B = \frac{e^{\frac{a}{b}}}{D}, \quad (7)$$

a oksidativno indukciono vreme (OIT) dalje sračunato na osnovu korelacije sa neizotermalnim podacima i jednačine [3]:

$$OIT = (T_\infty - T)a\, ln\left(\frac{T_\infty}{T_\infty - T}\right)^{\frac{a-1}{a}}, \quad (8)$$

gde je:

T_∞ - izokonverziona temperatura za beskonačnu brzinu zagrevanja ($T_\infty = \frac{T}{1-e-\beta_a}$),

T - izabrana teperatura (25, 120 ili 150 oC)

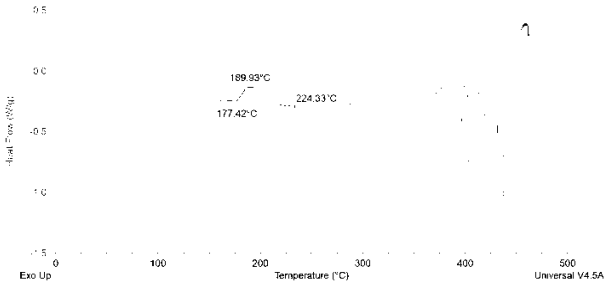
β - brzina zagrevanja,

a - varijabilni kinetički parametar (exponent, bez jasnog fizičkog značenja).

3. REZULTATI I DISKUSIJA

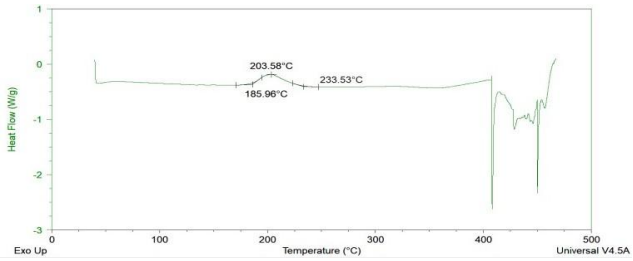
Procena parametara koji opisuju kinetiku oksidacionih procesa u uljima predstavlja ključni korak, jer upravo ovi numerički pokazatelji omogućavaju da se sagleda koliko je određeno ulje sklono propadanju tokom skladištenja, tehnološke obrade, termičkih postupaka poput prženja, kao i pod drugim spoljnim okolnostima. Za ulje dobijeno iz semena

susama ovi pokazatelji određeni su primenom diferencijalne skenirajuće kalorimetrije, pri čemu je ispitivanje sprovedeno u režimu neizotermalnog zagrevanja uz više različitih brzina porasta temperature. Grafički prikazi termičkog ponašanja ulja tokom oksidacije nalaze se na slikama 2, 3, 4 i 5, gde su redom prikazane DSC krive dobijene pri brzinama zagrevanja od 5, 10, 15 i 20 °C u minuti [5]. DSC zapis dobijen pri zagrevanju od 5 °C/min pokazuje prisustvo dve egzotermne faze, od kojih je prva izrazito dominantna, dok je druga znatno slabijeg intenziteta i teže uočljiva. Kada se zagrevanje obavlja većim brzinama, na rezultatima se registruje samo prvi egzotermni prelaz, dok drugi više nije vidljiv. Prema većini dostupnih naučnih izvora, smatra se da početni egzotermni pik potiče od formiranja hidroperoksidnih jedinjenja, dok se naredni javlja usled njihovog daljeg raspada. Morfologija DSC krivih najvernije se objašnjava modelom sukcesivnih reakcija koje započinju autokatalitičkim mehaniz- mom [6]. Zbog toga se pri izračunavanju kinetičkih pokazatelja oksidacionog procesa, koji služe za procenu stabilnosti ulja, kao ključni uzimaju temperatura na kojoj oksidacija počinje (T_{on}) i vrednost temperature na vrhu prvog egzotermnog pika (T_p). Sa termograma su izdvojene vrednosti T_{on} i T_{off} na osnovu preseka tangente egzotermnog uspona i produžene bazne linije, dok je T_p određena na mestu maksimalne visine pika; pritom T_{off} označava kraj reakcija vezanih za formiranje peroksidnih jedinjenja.

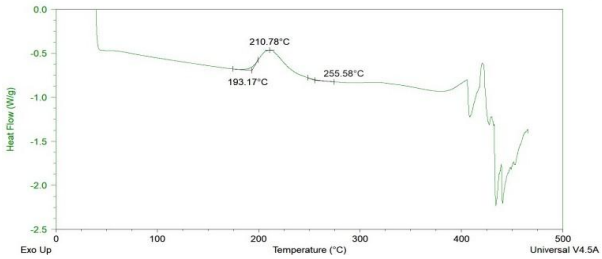


Slika 2. *DSC kriva ulja oksidacije ulja semena susama pri analizi u neizotermalnim uslovima i brzini zagrevanja od* $5\ °C/min$

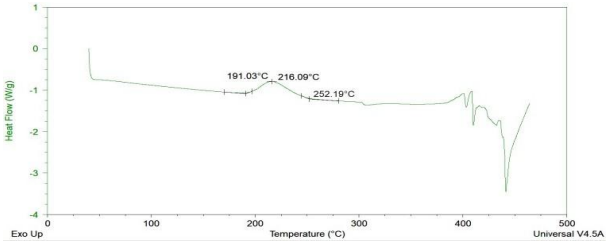
Na osnovu dobijenih vrednosti za T_{on} i T_p sračunati su kinetički parametri: energija aktivacije (E_a, KJ), predeksponencijalni faktor.



Slika 3. *DSC kriva ulja semena susama pri analizi u neizotermalnim uslovima i brzini zagrevanja od 10 °C/min*



Slika 4 *DSC kriva ulja semena susama pri analizi u neizotermalnim uslovima i brzini zagrevanja od 15 °C/min*



Slika 5 *DSC kriva ulja semena susama pri analizi u neizoter-malnim uslovima i brzini zagrevanja od 20 °C/min*

Tabela I Temperatura početka oksidacije (T_{on}), temperatura maksimuma pika (T_p) i temperatura završetka procesa oksidacije ulja semena susama na osnovu DSC krive pri različitim brzinama zagrevanja

Brzina zagre-vanja (β, K/min)	Ton (K)	Tp (K)	Toff (K)
5	450,42	462,93	497,33
10	458,96	476,58	506,53
15x„	466,17	483,78	528,58

Tabela I prikazuje temperaturne vrednosti koje označavaju početak oksidacionog procesa (T_{on}), maksimalnu tačku prvog egzotermnog pika (T_p) i završetak formiranja hidroksiperoksida (T_{off}), određene na osnovu DSC krivih pri različitim brzinama zagrevanja ulja semena susama. Ove informacije omogućavaju planiranje optimalnih uslova skladištenja ulja pre njegove prerade u prehrambene proizvode. Pored toga, identifikovane temperature pružaju smernice za podešavanje termičke obrade i očuvanja gotovih proizvoda koji sadrže ulje susama kao sastojak, čime se osigurava stabilnost i kvalitet finalnog proizvoda.

Tabela II *Temperatura početka oksidacije (Ton), temperatura maksimuma pika (Tp) i temperatura završetka procesa oksidacije ulja semena susama na osnovu DSC krive pri ra- zličitim brzinama zagrevanja*

Parametar	Temperatura	Metoda			
		KAS	Kissinger	OFW (Ton)	OFW (Tp)
Ea (kJ)		118,12	90,66	119,61	93,75
A (min^{-1})		$1,78x10^{13}$	$4,28\ x10^{9}$	$2,80\ x10^{13}$	$9,37\ x10^{9}$
k (min^{-1})	25 °C	$3,51\ x10^{-8}$	$5,48\ x10^{-7}$	$3,03\ x10^{-8}$	$3,45\ x10^{-7}$
	120 °C	$3,55\ x10^{-3}$	$3,81\ x10^{-3}$	$3,54\ x10^{-3}$	$3,24\ x10^{-3}$
	150 °C	$46,11\ x10^{-3}$	$27,24\ x10^{-3}$	$48,01\ x10^{-3}$	$24,79\ x10^{-3}$
τ1/2	**25 °C (meseci)**	**457**	**29,28**	**529**	**46,48**
	120 °C (h)	3,25	3,03	3,25	3,57
	150 °C (min)	15,03	25,44	14,43	27,96

Tabela II pokazuje da su energija aktivacije (E_a) vrednosti

dobijene na osnovu T_p niže u odnosu na one izračunate sa T_{on}. Ove razlike ukazuju na postojanje dve odvojene oksidacione reakcije: jedna koja se javlja na početku i druga koja dostiže maksimum prvog egzotermnog pika DSC krive, što se objašnjava mehanizmom autooksidacije — lančanom reakcijom pokrenutom stvaranjem slobodnih radikalnih jedinjenja u uljnom sistemu. U početnoj fazi lančane oksidacije inicijacija zahteva veću energiju, što dovodi do nastanka prvih reaktivnih jedinjenja u sistemu. Kako proces napreduje, povećava se broj ovih jedinjenja, pa je za dalje odvijanje oksidacije potrebno manje energije [7]. Shodno tome, oksidativna otpornost ulja u najvećoj meri zavisi od reakcija koje se odvijaju na početnoj temperaturi T_{on}, kada se formiraju inicijalni reaktivni molekuli. Međutim, aktivaciona energija ne sme se koristiti kao jedini kriterijum za procenu oksidativne stabilnosti različitih uljanih sistema, jer brzinska konstanta reakcije pruža pouzdanije informacije o kinetici procesa. Analiza podataka otkriva značajne razlike u vrednostima konstante brzine, koje se kreću od 10^{-3} do 10^{-8}, u zavisnosti od izabrane temperature i metode primenjene za merenje, čime se naglašava njena promenljiva priroda u različitim eksperimentalnim uslovima [8].

Rad može biti napisan i engleskom jeziku. U tom slučaju organizacija rada je sledeća: Naslov na engleskom, a zatim Naslov na srpskom, *Abstract*, *Keywords*, Sadržaj i Ključne reči.

Rad se piše u dve kolone, razmaknute za 5 mm. Rad kucati sa proredom 1 i veličinom slova od 10, kako je otkucano i ovo uputstvo. Novi red je uvučen (*first line indent*) za 5mm i odvojen od prethodnog pasusa za 6 pt.

Podnaslovi se pišu **boldirano VELIKIM SLOVIMA** sa rednim brojem podnaslova i veličinom 10.

Rad bi trebalo da sadrži sve ključne elemente naučnog ili stručnog istraživanja:

- temu, problem ili motivaciju koji rad obrađuje,
- korišćenu metodologiju i prošireni opis istraživanja,
- rezultate (ili očekivane rezultate) i diskusiju,
- zaključke i stručni ili naučni doprinos rada.

3. ZAKLJUČAK

Detaljnom hemijskom analizom izvršena je procena termooksidativne stabilnosti hladno presovanog jestivog ulja iz semena susama, proizvedenog prema specifikaciji PS-8, s ciljem definisanja njegovih fizičko-hemijskih parametara i otpornosti na oksidativne procese. Primenom neizotermalnih DSC metoda, uključujući KAS, Kissinger i OFW metode, određeni su kinetički parametri oksidacije i oksidativno indukciono vreme, čime je procenjena stabilnost ulja semena susama. Na osnovu DSC kriva, temperature početka oksidacije (T_{on}) su kretale u opsegu od 177,42 do 196,22 °C, dok su temperature maksimuma pika (T_p) bile između 189,93 i 216,47 °C.

Vrednosti energije aktivacije izračunate na osnovu T_{on} (oko 120 kJ/mol) ukazuju na energetski zahtevniju inicijalnu fazu oksidacije, dok niže vrednosti izračunate na osnovu T_p (oko 90 kJ/mol) potvrđuju postojanje druge, kasnije faze oksidacije, u skladu sa modelima lančane autooksidacije. Dobijene konstante brzine reakcije i procenjeno poluvreme oksidacije pri različitim temperaturama ukazuju na stabilnost ulja uporedivu sa prethodno opisanim biljnim uljima. Rezultati ovog istraživanja imaju značajne pedagoške implikacije: omogućavaju učenicima hemije, biohemije, tehničkog obrazovanja i zaštite životne sredine da povežu teorijska znanja o kinetici hemijskih reakcija sa praktičnim primerima iz svakodnevnog života, poput oksidacije ulja. Primena DSC metoda razvija eksperimentalne veštine, kritičko mišljenje i razumevanje naučnog procesa. Nadalje, uključivanje ovakvih primera u nastavu doprinosi ekološkoj pismenosti učenika, kroz razumevanje pravilnog skladištenja, termičke obrade i upravljanja uljima radi smanjenja otpada i negativnog uticaja na životnu sredinu. Za buduća istraživanja preporučuje se ispitivanje uticaja prirodnih antioksidanata u susamovom ulju na oksidativnu stabilnost, kao i poređenje hladno presovanog i rafinisanog ulja. Dalje analize mogu uključivati mešavine ulja, ulja različitog porekla i različite mikroklimatske uslove proizvodnje. Kombinacija DSC sa Rancimat metodom, FTIR spektroskopijom i izotermskim eksperimentima omogućila bi detaljnije proučavanje oksidacionih mehanizama. Posebno je korisno istraživanje oksidativne stabilnosti u realnim uslovima skladištenja, što bi unapredilo primenu dobijenih parametara u industriji hrane i nastavnoj praksi.

LITERATURA

[1] D. Micić, *Hemijska i termalna analiza semena jagodastog voća, doktorska disertacija*, Beograd: Fakultet za fizičku hemiju, 2016.

[2] Y. T. Yakindra, J. Vongsvivut, R. Adhikari, B. Adhikari, Physicochemical and thermal characteristics of Australian chia seed oil, *Food Chemistry*, 228: 394–402,2017.

[3] P. Šimon, Analysis of the induction period of oxidation of edible oils by differential scanning calorimetry, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77: 639–642, 2005.

[4] H. E. Kissinger, Reaction Kinetics in Differential Thermal Analysis, *Analytical Chemistry*, 29: 1702–1706, 1957.

[5] G. Litwinienko, K. T. Guttman, A DSC study on thermoxidation kinetics of mustard oil, *Thermochimica Acta*, 319: 185–191, 1998.

[6] P. Šimon, Induction periods. Theory and applications, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 84: 263–270, 2009.

[7] M. Ulkowski, M. Musialik, G. Litwinienko, Use of differential scanning calorimetry to study lipid oxidation. Oxidative stability of lecithin and linolenic acid, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 9073–9077, 2005.

[8] J. Thurgood, R. Ward, S. Martini, Oxidation kinetics of soybean oil/anhydrous milk fat blends: A differential scanning calorimetry study, *Food Research International*, 40: 1030–1037, 2007.

SAVREMENO LEČENJE OPEKOTINSKIH POVREDA
MODERN TREATMENT OF BURN INJURIES

Srđan Denčić

Sadržaj – Opekotinska povreda (lat. combustio) je vrsta hipertermičke povrede koja može nastati dejstvom električne struje, hemikalija, suve toplote, vrele tečnosti i gasa, zračenja ili trenja (agens opekotine, najčešće utvrđujemo iz auto ili heteroanamneze). Lečenje opekotinskih povreda je dugotrajno i složeno, a ishod lečenja često neizvestan i sa brojnim funkcionalnim, estetskim i psihičkim posledicama. Proces lečenje teških opekotina prolazi kroz nekoliko faza: Samopomoć, uzajamna pomoć i prva pomoć: Neutralisati dejstvo agensa koji je uzrokovao opekotinu a povređenog ukloniti sa mesta povređivanja ; Opšta medicinska pomoć; Specijalističko lečenje: (I) Opšti tretman: 1- Sprečavanje nastanka šoka: analgetik–im/iv, nadoknada tečnosti ; 2 - Borba protiv infekcije (antibiotik dati, nakon što se uradi bris opekotine); 3 – Stalni kateter u mokraćnu bešiku – meriti satnu diurezu; 4 – AT zaštita; 5 –Vitamini – C i B kompex; 6 – Blokatori protonske pumpe (sprečiti stres ulkus); 7 – Sedativi i kardiotonici p.p; 8 – Transfuzija krvi; (II) Lokalni tretman: 1 – Primarna hirurška obrada opekotine raditi kada se opšte stanje bolesnika popravi, u prvih 6 sati nakon povrede; 2 – Konzervativni tretman: (a) Otvorena metoda, metoda ekspozicije, bez zavoja (opisana u prošlom veku – Copel); (b) Zatvorena metoda, apsorptivna, metoda sa zavojem (Alen Koh); 3 – Hirurški tretman DUBOKIH opekotina – danas je aktuelan aktivni hirurški stav - indikujemo RANU NEKREKTOMIJU (Jackson) / PRIMARNU – TANGENCIONALNU EKSCIZIJU (Z. Žeković); 4 - Estetska hirurgija ožiljnog tkiva; 5 - Fizikalna terapija; 6 - Hipebarična oksigenacija.

Ključne reči: opekotinske povrede, savremeno lečenje

Abstract –. Burn injury (lat. combustio) is a type of hyperthermic injury that can be caused by electric current, chemicals, dry heat, hot liquid and gas, radiation or friction (burn agent, usually determined from auto or heteroanamnesis). The treatment of burn injuries is long-term and complex, and the outcome of the treatment is often uncertain with numerous functional, aesthetic and psychological consequences. The process of treating severe burns goes through several stages: Self-help, mutual aid and first aid: Neutralize the effect of the agent that caused the burn and remove the injured person from the place of injury; General medical assistance; Specialist treatment: (I) General treatment: 1- Prevention of shock: analgesic-im/iv, fluid replacement; 2 - Fight against infection (antibiotic given, after swabbing the burn); 3 - Permanent catheter in the urinary bladder - measure hourly diuresis; 4 – AT protection; 5 - Vitamins - C and B complex; 6 – Proton pump blockers (prevent stress ulcer); 7 – Sedatives and cardiotonics p.p.; 8 – Blood transfusion; (II) Local treatment: 1 - Primary surgical treatment of the burn should be done when the general condition of the patient improves, in the first 6 hours after the injury; 2 - Conservative treatment: (a) Open method, exposure method, without bandages (described in the last century - Copel); (b) Closed method, absorptive, bandage method (Allen Koch); 3 - Surgical treatment of DEEP burns - today an active surgical attitude is current - we indicate EARLY NON-CRECTOMY (Jackson) / PRIMARY - TANGENTIAL EXCISION (Z. Žeković); 4 - Aesthetic surgery of scar tissue; 5 - Physical therapy; 6 - Hyperbaric oxygenation.

Keywords: burn injuries, modern treatment

1. UVOD

Opekotinska povreda (lat. combustio) je vrsta hipertermičke povrede koja može nastati dejstvom električne struje, hemikalija, suve toplote, vrele tečnosti i gasa, zračenja ili trenja (agens opekotine, najčešće utvrđujemo iz auto ili heteroanamneze). Oštećenje tkiva je u direktnoj vezi s visinom temperature i dužinom izlaganja štetnom agensu. Što je viša temperatura i dugotrajnije djelovanje, oštećenja su opsežnija. Tkiva podnose temperaturu do +500˚C. Preko 500˚C – dolazi do ireverzibilnih promena (funkcionalnih i morfoloških). Rezultat delovanja toplotnog agensa je koagulaciona nekroza.

U etiološkom smislu, najveći deo opekotina nastaje u direktnom kontaktu s otvorenim plamenom (70-80%), vrelom tečnošću, dodirom vrelog predmeta itd.

Srđan Denčić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: srdjan.dencic@akademijanis.edu.rs).

U dečjem dobu najčešće su izazvane nezgodama u kući, kod odraslih nezgodama na poslu (industrija). Veće opečene površine izazivaju razvijanje opekotinske bolesti, vrlo ozbiljnog kliničkog stanja, često, s neizvesnim ishodom. Shodno tome, opekotine možemo klasifikovati na temelju: zahvaćene površine, dubine opekotine.

Opekotina može biti različite površine (određuje se pravilom”devetke”, A. Wallace, 1951), različite dubine, u zavisnosti od stepena oštećenja tkiva (kod ekstenzivnih opekotina, procenjuje se nakon 3 dana, posle faze šoka) i sa različitim komplikacijama. Oštećenja mišića, kosti, krvnih sudova i unutrašnjih organa, nastaju kod dubokih opekotina i praćena su jakim bolom zbog povreda živaca. Zavisno o stepenu oštećenja opekotine mogu biti praćene brojnim potencijalno smrtonosnim komplikacijama, uključujući šok, infekcije, poremećaj metabolizma elektrolita i poremećaj disanja (kod udahnutih vrelih gasova i para). Generalno je prihvaćen stav da opekotine koje su zahvatile više od 1% površine tela zahtevaju obradu i lečenje od strane lekara. Ekstenzivne opekotine su obavezno praćene šokom (kod

odraslih – zahvaćenost 15 -40% površine tela; kod dece – 5 – 10%); prolaze kroz nekoliko faza: (1) Faza šoka, zbog hipovolemije i ekstenzivnog / intenzivnog bola; gubitak tečnosti je najveći u prvih 8h. II/III dana dolazi do oporavka ćelijskog potencijala, restitucije povređenih kapilara I resorpcije edema iz intersticijuma: ako se ne misli na ovaj fenomen u toku reanimacije, može doći do intoksikacije vodom (akutni edem pluća, anurija/ARI). Sa tečnošću iz edema, resorbuju se toksični produkti i nastaje sledeća faza. (2) Faza toksemije – traje 5 – 10 dana; nastaje zbog resorpcije toksina produkata nepotpunog metabolizma u hipoksičnom tkivu, produkata nastalih nekrozom tkiva, mikroorganizama. (3) Faza infekcije, septikemije – nastavlja se na II fazu, nema jasne granice; između II i III sedmice; u vreme kada počinje demarkaciona nekroza, infekcija je neminovna, uprkos svim nastojanjima i aseptičkom radu. U ovoj fazi bolesnici najčešće umiru; ako se pravilno sprovodi terapija, bolesnik ne sme egzitirati u fazi šoka, niti fazi toksemije. (4) U starijim udžbenicima – Faza spontane eliminacije nekroze/ granulacije – nakon 20 – 30 dana od povrede.

1.1 Sistemske promene opekotinske povrede - opekotinska bolest

HIDROELEKTROLITNE PROMENE

Gubitak tečnosti i elektrolita evaporacijom sa opečene površine: Q= %opečene površine x površina tela u cm2 x 0,3ml; Posledično nastaje hipermetabolizam, katabolizam sopstvenih proteina, elektrolitni disbalans

BIOHEMIJSKE PROMENE

1.glikemija –hiperglikemija u akutnoj fazi kao zaštitni metabolički odgovor;

2. hipoproteinemija u ranoj fazi zbog prelaska proteina u intersticijum, u kasnoj fazi kao posledica katabolizma;

3. porast azotnih materija zbog neadekvatne restitucije cirkularornog volumena i krvarenja u GIT;

4. poremećaj acidobazne ravnoteže-metabolička acidoza.

1.2 Reakcije pojedinih organa u opekotinskoj bolesti

NEUROHUMORALNE REAKCIJE - ACTH, lučenje hormona stresa kortizola, ADH, aldosterona;

KARDIOVASKULARNE PROMENE uslovljene neurohumoralnim dejstvom, smanjenjem cirkulatornog volumena, poremećaja elektrolita;

PROMENE NA PLUĆIMA kod inhalacionih i neinhalacionih povreda;

PROMENE NA BUBREZIMA: prerenalna insuficijencija, olugurija, azotemija, elektrolitni disbalans;

GASTROINTESTINALNE PROMENE: ishemični ulkus, povećan aciditet, poremećaj motiliteta usled elektrolitsko disbalansa;

HEMATOLOŠKE: hemoliza eritrocita, smenjeno stvaranje eritropoetina, gubitak krvi.

2. METODOLOGIJA

2.1 Klasifikacija opekotina:

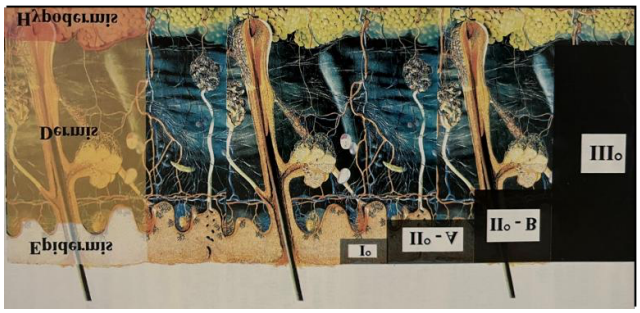
1) PO UZROKU: vrela tečnost, para (ambustio); plamen, vreli predmeti (combustio); struja (electrocutio); grom (fulguratio); hemijske supstance (causoma); radijacija (radiodermatitis).

2) PO VREMENU NASTANKA:

- sveže - od momenta nastanka do 48h;

- stare.

3) PO DUBINI OPEČENE POVRŠINE I - IV stepena



Slika 1. *Histološki presek kože i stepen opekotinske povrede*



Slika 2. *Jakson shematski prikaz opekotinske rane*

1.CENTRALNA ZONA - najjači termički efekat, koagulaciona nekroza stvara ireverzibilne promene u ćelijama

2. ZONA STAZE –potencijalno ireverzibilna oštećenja, u ovoj zoni se dešavaju glavne promene u nekoliko faza:

a) faza naglog edema - hemodinamske promene vazodilatacija, promena permeabilnosti kapilara i venula, ekstravazacija elemenata krvi

b) faza zarastanja – izražena perfuzija

c) faza infekcije: 1. nedelja kolonizacija G+bakterija,

2. nedelja infekcija G- bakterijama

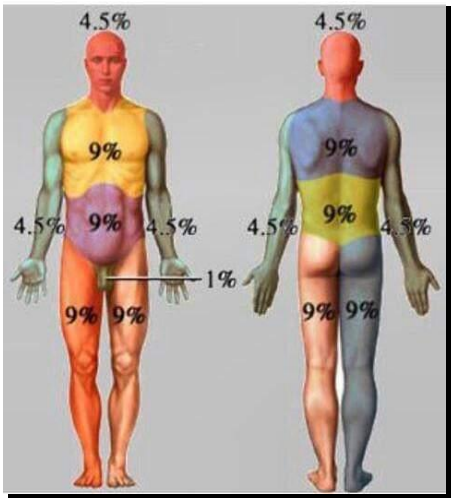
kasna gljivična infekcija

3. ZONA HIPEREMIJE - minimalno oštećenje

4) PREMA ZAHVAĆENOSTI POVRŠINE TELA

ODREĐIVANJE POVRŠINE OPEKOTINSKIH POVREDA

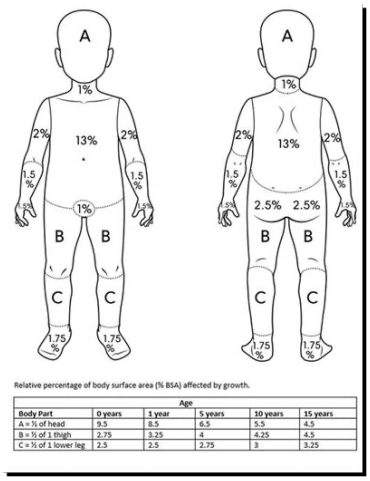
1. PRAVILO DLANA -kod manjih opekotinskih povreda možemo koristiti pravilo dlana pri čemu je merilo dlan pacijenta sa ispriženim prstima koji orijetaciono iznosi oko 1%.
2. PRAVILO „DEVETKE“ - 1950. Wallace je je napravio jednostavnu šemu, koja se može primeniti kod odraslih i veće dece; podelio je površinu tela na 11 zona.



Slika 3. *Pravilo devetke*

3. Procena prema Lund-Brower-u, za malu decu.

Kod mele dece postoji disproporcija koja se tokom rasta menja: GLAVA I VRAT odojčeta čine 19 % površine tela, svake godine se smanjuje za 1 %, tako da glava deteta od 10 godina iznosi oko 9 %; NOGA odojčeta iznosi 13 % površine tela, svake godine se povećava za 0,5 % tako da površina deteta od 10 godina iznosi oko 18 % kao kod odraslih.



Slika 4. *Pravilo po Lund-Brower-u, za malu decu*

LEČENJE OPEKOTINSKIH POVREDA je dugotrajno i složeno, a ishod lečenja često neizvestan i sa brojnim funkcionalnim, estetskim i psihičkim posledicama. Poseban problem predstavljaju teške opekotine koje imaju veliki medicinski, socijalni i ekonomski značaj. Američko udruženje za opekotine i Američki koledž hirurga 1999. godine postavilo je kriterijume za razvrstavanje, početno lečenje i bolničko lečenje opekotina, koji su danas opšte prihvaćeni; lake opekotine leče se ambulantno; srednje teške i teške opekotine u bolničkim uslovima; deo teških opekotina u specijalizovanim ustanovama. Proces lečenje teških opekotina prolazi kroz nekoliko faza:

Samopomoć, uzajamna pomoć i prva pomoć: Neutralisati dejstvo agensa koji je uzrokovao opekotinu a povređenog ukloniti sa mesta povređivanja; nekoliko minuta ispirati mlakom vodom, a ukoliko se radi o manjoj opekotini, poželjno je hlađenje rane, Kod hemijskih opekotina, ispiranje ima još veći značaj i treba da traje duže, do jednog sata kod opekotina kiselinama (antidot - Na bikarbonat). a 1−3 sata kod opekotina alkalijama (antidot – acidi borici); sa povređenog treba ukloniti odeću, obuću, nakit i svi predmete koji stežu, jer oni nakupljaju toplotu i pogoršavaju stepen oštećenja; ko je odeća jako slepljena za telo, ne treba nasilno da se skida; povređene regije treba da se pokriju čistim čaršavom ili prvim zavojem za opekotine; na rane ne treba stavljati nikakve tečnosti, masti ili kreme.

Opšta medicinska pomoć: Pri prvom kontaktu sa povređenim, treba da se notiraju podaci o mehanizmu povređivanja (vrsta agensa, mesto i vreme povređivanja) i samom bolesniku (telesna masa, postojanje težih bolesti i slično). Odredi ukupnu površinu opekotine, Land-Brovder-ovom tablicom koja je jednostavna za upotrebu i najpreciznija. Radi redukcije gubitka tkivnih tečnosti, kod većih opekotina, donji ekstremiteti se postavljaju u uzdignuti položaj, a ukoliko opekotina to dopušta u elevaciju treba da se postavi i glava i grudni koš. Kod većih opekotina potrebna je oksigenoterapija, najbolje preko nazalnog katetera. Ukoliko se sumnja u inhalacionu povredu, treba blagovremeno da se uradi endotrahealna intubacija. Povređenom se daje i ostala simptomatske terapija i ukoliko je procenat opečene površine veći od 10% upućuje se na bolničko lečenje.

Specijalističko lečenje:
(I) Opšti tretman: Sprečavanje nastanka šoka: analgetik–im/iv, nadoknada tečnosti; Borba protiv infekcije (antibiotik dati, nakon što se uradi bris opekotine); Stalni kateter u mokraćnu bešiku – meriti satnu diurezu; AT zaštita; Vitamini – C i B kompex; Blokatori protonske pumpe (sprečiti stres ulkus); Sedativi i kardiotonici p.p; Transfuzija krvi – početi III dana,, kada prođe faza šoka, kada se kapilari restituišu (ako se transfuzija, albumini, plazma daju u fazi šoka, dolazi do izlaska proteina u intersticijum i povećava se edem). Osnovu za izračunavanje količine izgubljene tečnosti čini Evansova formula (TT x % opečene površine…primer: 70 kg x 40% = 2800 ml); I dana, prvih 8 sati dati 2800 ml, sledećih 16 sati – još 2800 ml plus 2000 ml za metaboličke potrebe (za prvih 24 h dovoljno je dati nadoknadu tečnosti zapremine 10 % od TT bolesnika; pr. 10% od 70 kg…7 L tečnosti, najoptimalnije – Ringer lactat ili hipertonični rastvor Na); 10 ; II dana dati ½ zapremine date I dana plus 2000 ml za metaboličke potrebe; tečnost per os, kod lakih opekotina - dati III dana, a kod opsežnih – IV dana. Pratiti BH parametre, satnu diurezu mora

biti 30 – 50 ml). Kod ekstenzivnih opekotina većih od 50 %, dati tečnost kao da je površina 50 %.

(II) Lokalni tretman nije urgentan, odlaže se; važno je zaštititi opekotinu od sekundarne infekcije, odn.umotati u sterilne čaršave:

1 – Primarna hirurška obrada opekotine raditi kada se opšte stanje bolesnika popravi, u prvih 6 sati nakon povrede;

2 – Konzervativni tretman (kod POVRŠNIH opekotina), nakon primarne obrade: (a) Otvorena metoda, metoda ekspozicije, bez zavoja (opisana u prošlom veku – Copel): od sasušene plazme na površini opekotine se stvori biološka kora, koja sprečava prodiranje bakterija u dublje slojeve; Indikacije: opekotine lica i perineuma – obavezno, opekotine koje zahvataju samo prednju ili zadnju stranu tela (ako je veća, teško je sprovesti, moraju da postoje specijalni uslovi); (b) Zatvorena metoda, apsorptivna, metoda sa zavojem (Alen Koh) – preko opečene površine staviti sterilnu vazelinsku gazu/ sterilnu gazu/vatu/zavoj. Indikacije: opekotine šaka, cirkularne opekotine. Topična sredstva se lokalno nanose na opečene površine – ona nemaju efekta na epitelizaciju, već sprečavaju lokalnu infekciju, koja može da površne opekotine prevede u duboke, zbog tromboze kapilara. Površne opekotine epitiliziraju spontano za 10 – 20 dana.

3 – Hirurški tretman DUBOKIH opekotina – danas je aktuelan aktivni hirurški stav: u periodu III- V dana (posle faze šoka), ako testom analgezije i testom vaskularnog povratka procenimo da je opekotina duboka.

RANA NEKREKTOMIJA (Jakson) - prevenira toksemiju i septikemiju.

PRIMARNA TANGENCIJALNA EKSCIZIJA (Janžeković) se ne radi kod opekotina lica, perineuma i opekotina električnom strujom -čeka se demarkacija nekroze;

DEKOMPRESIVNE INCIZIJE – FASCIOTOMIJA;

TRANSPLANTACIJA KOŽE: AUTO / HOMO / SINTETIČKI MATERIJALI, VEŠTAČKA KOŽA Nekroza se tangencionalno ekcidira Humby- evim nožem, do zdravog tkiva, do sveže krvareće površine; na takvu površinu se stavlja kožni transplantat. Skidanjem nekrotičnih masa, prevenirali smo II I III fazu opekotina (toksemiju, septikemiju). Kožni transplantat deluje kao biološki zavoj: sprečava gubitak elektrolita i plazme, sprečava razvoj infekcije, ima hemostatsko dejstvo, smanjuje stvaranje fibroznog tkiva, skraćuje dužinu lečenja (najvažnije!). Ako se posle nekrektomije do sveže ktvareće površine, defekt ne pokrije transplantatom, razvija se dalja nekroza, površina pocrni. Indikacije za prioritetne primarne ekscizije: opekotine šaka, kapaka, pregibnih regija (zbog funkcije).

Posle operacije, neophodna je intenzivna nega; u toku operacije dati transfuziju – na svakih 5% opečene površine dati 500 ml krvi. Do nedavno se primarna ekscizija radila kod opečenih površina do 20% (veće opečene površine su dovodile do egzitusa). Danas, ako su opečene površine veće od 20%, koristi se homotransplantat (od najbližeg srodnika) – sukcesivno se, na 3 – 7 dana. skida po 20 % nekrotične površine i pokriva homotransplantatom, koji traje oko 30 dana, pa ga organizam odbacuje…do tada se bolesnik oporavi, pa se sukcesivno homotransplantat zamenjuje autotransplantatom. Poželjno je na transplantatu kože napraviti perforacije, mesh – graft mašinom, tako da se on ponaša kao mrežica i pokriva veću površinu. Kod opekotina preko 50 %, u prvom aktu se koriste samo homotransplantati.

4 - Estetska i funkcionalna hirurgija ožiljnog tkiva (elongacija „Z“ plastika kod kontraktura nastalih usled ožiljaka; ekscizija hipertrofičnog ili keloidnog ožiljka; korekcija ektropiona);

5 - Fizikalna terapija,;

6 - Hiperbarična oksigenacija.

Komplikacije:

(I) Rane: akutna renalna insuficijencija, izlivi (pleuralni, perikardijalni), ARDS, tetanus,prekid cirkulacije zbog jakog otoka ekstremiteta;

(II) Kasne: infekcija (krajem I nedelje), gljiviučna infekcija (zbog visokih doza antibiotika), ožiljci sa kontrakturama, Curlingov stres ulkus (th. totalna gastrektomija), malnutricija, insuficijencija nadbubrežne žlezde, Meržolini CA (na ožiljku opekotine, evolucija – oko 20 godina, najčešće – planocelularni CA). Brojna fizička oštećenja na površini tela, kao komplikacija opekotina, mogu izazvati ozbiljne psihološke i emocionalne probleme kod opečene osobe zbog ožiljaka i deformacija.

3. ZAKLJUČAK

Opekotinske povrede su među najčešćim povredama u svetu.

Opekotina je jedna od najčešćih traumatskih povreda u svetu; prema izveštaju SZO, zbog posledica nastalih opekotinama godišnje umre više od 300 000 ljudi. Ovaj broj je verovatno podcenjen jer se većina nesreća događa u siromašnim zemljama u kojima ne postoji precizna statistika

U lečenju opekotina i sprečavanju nastanka komplikacija i posledica ovih povreda veoma je važna uloga svih lekara i zdravstvenih radnika na svim nivoima zdravstvene zaštite.

LITERATURA

[1] K. Allison, The UK pre-hospital management of burn patients:current practice and the need for a standard approach. Burns 28(2): 135-42, 2002.

[2] A.J. Ahmed, M.J. Hoekstra, J.J. Hage, R.B. Karim, Honeymedicated dressing:transformation of an ancient remedy into modern therapy. Ann Plast Surg 50(2):143-8, 2003.

[3] D.N. Herndon, Spies M.: Modern burn care. Semin Pediatr Surg 10(1): 28-31, 2001.

[4] Ž. Maksimović, Hirurgija, udžbenik za studente, Medicinski fakultet u Beogradu, 2013.

[5] M. Dragović, Urgentna i ratna hirurgija, 1998.

[6] Ž. Maksimović et al., Prva pomoć, 2005.

[7] J.J. Roth,W.B. Hughes, The essential burn unit handbook. St. Louis: Quality Medical Publishing; 2004.

[8] V. McGill, A. Kowal-Vern, R.L.Gamelli, Outcome for older burn patients Arch Surg. 135(3): 320−5, 2000.

STRATEGIJE ZA PODSTICANJE MOTIVACIJE ZA ČITANJEM U ŠKOLAMA
STRATEGIES FOR ENCOURAGING READING MOTIVATION IN SCHOOLS

Anđelina Stefanović

Sadržaj – Čitanje je bilo veoma popularno pre nego što se pojavila televizija i kompjuteri. Ljudi su uživali trošeći svoje slobodno vreme na ovaj način. Deca bi veoma rano zavolela čitanje i uživala uranjajući u svet mašte. Međutim, ne postoji razlog da se zanemari čitanje knjiga i njihov značaj u životu svakog čoveka, iako je trenutno dominantan tehnološki razvoj i prisustvo drugačijih načina da se ispuni slobodno vreme. Presudnu ulogu u razvijanju ljubavi prema knjizi kod dece i učenika imaju odrasli, roditelji i nastavnici. U bogati i maštoviti svet knjige decu bi trebalo uvoditi pažljivo i postepeno, pa bi bilo dobro ukazati na neke stvari koje bi odraslima bile od koristi na tom zadatku. Brojna istraživanja su pokazala da deca koja čitaju od najranije dobi se brže razvijaju, zainteresovanija su za svoju okolinu, brže uče, bolje se snalaze u komunikaciji sa drugima, bogate rečnik, imaju bolju koncetraciju, razvijenije kreativno i logičko razmišljanje, kao i maštu.

Ključne reči: čitanje, mašta, knjiga, istraživanja, komunikacija.

Abstract – Reading was very popular before television and computers. People enjoyed spending their free time in this way. Children would love reading very early and enjoy immersing themselves in the world of imagination. However, there is no reason to ignore reading books and their importance in the life of every person, even though technological development and the presence of different ways to fill free time are currently dominant. Adults, parents and teachers play a crucial role in developing a love of books in children and students. Children should be introduced to the rich and imaginative world of books carefully and gradually, so it would be good to point out some things that would be useful for adults in this task. Numerous studies have shown that children who read from an early age develop faster, are more interested in their surroundings, learn faster, are better at communicating with others, have a richer vocabulary, have better concentration, more developed creative and logical thinking, as well as imagination.

Keywords: reading, imagination, book, research, communication.

1. UVOD

„Ostati ravnodušan prema knjizi, znači lakomisleno osiromašiti svoj život."

Ivo Andrić

Kako bi se uopšte govorilo o strategijama i načinima koji se mogu upotrebiti za podsticanje motivacije za čitanjem kod učenika, bitno je napomenuti značaj čitanja bajki deci u ranom detinjstvu. Bajka predstavlja posebnu književnu vrstu koja je namenjena deci, a u njoj se prepliću stvarno i nestvarno. Može se reći da je bar jedna bajka obeležila detinjstvo svakog čoveka. Roditelji, bake i deke uglavnom deci čitaju bajke pred spavanje, a to posle prerasta u lepu uspomenu, koja se nikada ne zaboravlja. Mališani se poistovećuju sa najmanje jednim junakom i maštaju o imaginarnim likovima iz priča koje čuju od odraslih. U svim bajkama glavni lik je na strani dobra i suočava se sa raznim izazovima, kako bi na kraju pobedio zlo. Ove priče obuhvataju mnoge nemoguće događaje i natprirodna bića. Postoji više razloga zašto deca vole bajke. Recimo, slike i ilustracije su lepe i pristupačne deci, a jezik je jednostavan i razumljiv. Osećaj zadovoljstva je kompletan kada dobro pobeđuje zlo, a takođe deca osećaju povezanost, posvećenost i ljubav sa onim ko mu čita [1].

Postoji višestruka korist od čitanja bajki, ona razvija koncentraciju, pažnju, kao i logičko zaključivanje.

Anđelina Stefanović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17500 Vranje (imejl: andjelinadenic@yahoo.com).

Ova književna vrsta pozitivno utiče na razvoj svih vrsta inteligencije. Unutrašnji život deteta se polako kreira kroz bajke koje prenose jedinstveno iskustvo i pouku. Deci ove priče pomažu da maštaju, ali i da upoznaju svet i ono što ih čeka kad odrastu kroz izmišljene likove poput čarobnjaka, veštica i zveri. U današnjem svetu, briga za egzistenciju čini život ubrzanim i roditelji teško nalaze vremena da svojoj deci čitaju bajke u miru i tišini. Međutim, ova aktivnost predstavlja važan i neizostavan deo odrastanja svakog deteta, kako bi se oplemenilo njegovo detinjstvo.

U jednom fantastičnom svetu, u kojem vladaju natprirodna bića stanuje bajka, drevna usmena narodna priča o krajnje neobičnim i uzbudljivim doživljajima junaka. Glavni lik predstavlja pozitivnu i moralnu osobu, koja je na početku priče naivno i slabo dete koje odlazi od kuće u neizvesnu pustolovinu. Kasnije, raznim čarolijama i spretnošću, ovaj lik se pretvara u moćnog junaka koji uspeva da prođe kroz brojne prepreke i savlada svog nadmoćnog protivnika i tako zadobije ljubav princeze i carski presto [1].

Sadržaj, likovi i radnja u ovoj književnoj vrsti su jednostavni i primereni dobi predškolskog deteta. Kod čoveka u ovom uzrastu još uvek nije razvijena spoznajna struktura, koja bi mu pomogla da razume više dobrih i loših osobina kod likova, pa se oni dele na dobre i zle. Iz razloga što dobri i moralni junaci uvek pobeđuju na kraju, deca se poistovećuju sa njima. Na taj način se kod dece razvijaju te iste osobine kao društveno poželjne, a mališani uče o sebi i svojim osećanjima. Ovo mu pomaže da u kasnijim godinama izrazi svoje želje, strahove i očekivanja. Prave vrednosti, kao što su moralnost, hrabrost, odanost i značaj pravog prijateljstva, deca prvo

uočavaju u bajkama. Kroz čitanje bajki dete razvija koncentraciju i brzo uči da čita i piše. Mnogi roditelji imaju probem da izaberu pravu priču za uzrast svog deteta. U ranijem dobu sve bajke braće Grim predstavljaju odličan izbor, dok su bajke Andersena pogodnije za stariji uzrast, pošto u većini slučajeva imaju tužan kraj [2].

2. ZADATAK NASTAVNIKA I BIBLIOTEKARA ŠKOLE

Savremeno doba i dvadeset prvi vek su doneli mnoge izazove za nastavnike i roditelje u vezi motivacije dece za čitanjem. Zbog neprestanog razvoja tehnologije, velikog uticaja Interneta i televizije na mlade, knjiga je donekle izgubila ulogu koju je do skoro imala u duhovnom razvoju omladine. Mnogi učitelji, nastavnici, profesori i bibliotekari škole su mišljenja da je rečnik učenika siromašan, da su deca izgubila maštu i da ne umeju da uživaju u lepoti književnosti. Iz ovoga se može zaključiti da je jedan od zadataka prosvetnih radnika modernog sveta vratiti knjige u duhovni rast i razvoj mladih.

Upoznavanje sa činjenicama, pojavama i događajima, proširivanje znanja stečenih kroz različite nastavne predmete, kao i usvajanje kulturnih, etičkih i humanističkih vrednosti, pruža upravo razvijena potreba za čitanjem. Jedan je od ključnih zadataka vaspitno-obrazovne delatnosti škole predstavlja razvoj potrebe za čitanjem svih vrsta tekstova. Kako bi motivisali učenike da više čitaju nastavnici mogu da koriste različite metode. Neki od zadataka koji se daju učenicima je da odaberu pesmu za recitovanje, da dramatizuju neki odlomak, da sastave pitanja vezana za delo, da pričaju o pročitanim knjigama, da pišu pesme i prozna dela, da menjaju, dopunjuju, oslikavaju pojedine delove književnog dela, da istražuju i dopunjuju svoja znanja korišćenjem dodatnih izvora znanja [3].

Za popularizaciju knjiga i čitanja, za formiranje ličnosti deteta, kao i za njegovu uspešnu socijalizaciju u društvu, zaduženi su prosvetni radnici i bibliotekari u školama. Oni nude pomoć pri učenju, knjige i izvore koji svim učesnicima obrazovnog procesa u školi omogućavaju da razviju kritičko mišljenje i da delotvorno koriste informacije u svim oblastima. Podsticanje učenika na čitanje predstavlja složen posao, jer to podrazumeva dobro poznavanje svih učenika. Kako bi se postigao maksimum u podsticaju učenika na čitanje, neophodna je saradnja između nastavnika i bibliotekara škole [3]. Nastavnici i bibliotekari sarađuju da bi [3]:

- poboljšavali i vrednovali informacione veštine i informaciono znanje učenika;
- pripremali i izvodili posebne projekte koji se realizuju u biblioteci;
- pripremali i realizovali programe čitanja i kulturnih dešavanja;
- objašnjavali deci i roditeljima važnost čitanja;
- približili učenicima biblioteku i probuditi potrebu za čitanjem i obrazovanjem;
- pružali pomoć obdarenim učenicima pri nalaženju i izboru odgovarajuće literature, a posebno učenicima koji imaju teškoće u čitanju i učenju, ali i onim učenicima koji žive u težim socijalnim prilikama, sarađujući sa njihovim roditeljima i relevantnim institucijama;
- pripremali i realizovali bibliotečki program namenjen učenicima sa posebnim potrebama i posebnim sposobnostima;
- obezbeđivali pristup programima koji rade na razvijanju informacione pismenosti, kako bi se korisnici osposobili za pronalaženje, analiziranje, primenu i saopštavanje informacija, uz vešto i efikasno korišćenje informaciono - komunikacionih tehnologija.

3. NEKI OD OBLIKA RADA KOJI MOGU DA PODSTAKNU UČENIKE NA ČITANJE

Razvoj potrebe za čitanjem kod učenika treba održavati tokom celog školovanja, a potrebno ga je započeti od momenta kada oni prvi put uđu u prostorije obrazovne ustanove. Susret učenika prvog razreda sa čitanjem, knjigama i školskom bibliotekom neophodno je da bude neposredan, zanimljiv i sadržajan. S tim da osnovni sadržaji i ciljevi rada budu čitanje i pričanje priča, bajki, gledanje filmova, slušanje muzike, ilustrovanje nekih sadržaja, učenicima prvog razreda časovi lektire, a i neki drugi časovi, mogu se održati u biblioteci. Može se reći da deca neguju usmeno izražavanje i bogate svoj rečnik prepričavanjem bajke, basne, pa čak i filma. Kod deteta treba stvoriti naviku da uzima knjige, da ih čita, da se druži sa njima, da se igra i zabavlja od samog početka, a nastavnici i bibliotekari treba da budu prisutni i da mu objasne kako [3].

U nastavku biće objašnjeni neki od načina rada, koji kod učenika mogu probuditi želju za čitanjem knjiga [3].

-Neki od načina motivacije učenika za čitanjem je da bibliotekar biblioteku koristi kao čitaonicu, kao i da se nastavnik pojavi na času sa knjigom koja nije samo udžbenik vezan za njegov predmet. Pozitivan primer detetu se daje knjigom koja nije deo obavezne literature, prosvetni radnici tako pokazuju svojim učenicima da i oni redovno čitaju.

-Ostaviti knjigu na vidnom mestu je jedan od glavnih zadataka, na primer, kada nastavnik uđe u učionicu treba da spusti knjigu na sto, da je deca primete. Moguće je da će u toj situaciji neki učenici nešto i priupitati u vezi te knjige i na taj način pokrenuti razgovor o čitanju iste. Takođe, može da se povede razgovor sa učenicima o tome šta oni čitaju i da se na taj način dođe do saznanja koja su njihova interesovanja.

-Kako bi ostavili što bolji utisak pred svojim drugovima, nastavnicima i bibliotekarima, organizovanje aktivnosti, kao što su razgovori o pročitanim knjigama, podstaknuće učenike da se samostalno i detaljno pripremaju. Ovako se može otkriti kakav je rečnik učenika, na koji način razumeju knjige, šta ih privlači i šta nisu uočili tokom čitanja. Učenicima koji vole usmeno da izlažu takvi časovi mogu biti veoma zanimljivi, a istovremeno mogu probuditi želju njihovim drugarima da i sami pročitaju knjige o kojima je bilo reči.

Mogu se organizovati i časovi u kojima nastavnik i bibliotekar govore o književnim delima koje su oni pročitali. Deca kroz ovakve aktivnosti uče kako se o knjigama govori, kojim redosledom, kakvim rečnikom, na šta treba da se obrati pažnja, šta nude nova pisana dela.

-Jedan od zadataka koji bi mogli da sprovode prosvetni radnici je da svi učenici odaberu po jednu pesmu koju će pročitati svojim drugovima i drugaricama i da nakon čitanja kažu zašto su se opredelili baš za tu pesmu. Da bi učenik izabrao odgovarajuću pesmu mora malo da istražuje, da pogleda više knjiga, da pročita više pesama. Učenici koji vole da recituju mogu pesme da uče napamet i da prikažu svoje umeće.

-Kao jedan oblik aktivnosti u školi mogu se organizovati dramske igre i gluma, koje su vrlo primamljive deci. Zadatak učenika bi bio da sačine scenario od pesama ili nekog odlomka iz romana, koji su sami odabrali ili koji je odabrao nastavnik ili bibliotekar škole. Kako bi ovo sproveli u praksu učenici bi morali da pročitaju potrebna dela, da potraže neke informacije o pisanju scenarija, o glumi, kostimima, što zahteva izvestan trud. Bilo bi poželjno da se učenicima da veća sloboda, pa da oni nešto dodaju ili izostave u dramskom tekstu. Prikaz dramske predstave pred drugim učenicima i nastavnicima škole čini drugi deo njihovog dramskog posla, nakon čega svi zajedno mogu učestvovati u diskusiji.

-U školama postoje i deca koja su talentovana za crtanje i slikanje. Jedan od načina da se ovi učenici motivišu da čitaju je zadatak u kojem bi oni morali da odaberu pesmu, deo bajke, basne ili romana koji će likovno predstaviti. Nakon toga, potrebno je da učenik objasni svoju sliku, da opiše svoja osećanja i razmišljanja, da li je bilo poteškoća ili nedoumica. Sličan zadatak mogao bi da bude da učenici oslikavaju junake, mesta radnje, korice za knjige, onako kako ih oni zamišljaju.

-Iako televizija i Internet u suštini imaju štetan uticaj na razvoj dece, neophodno je napomenuti da ova dva medija mogu da se iskoriste i na pozitivan način.

-Kako bi se kod deteta stvorila navika za čitanjem prvo se mora krenuti od lakšeg štiva, a to su slikovnice, knjige koje govore o životinjama ili o dečijem životu, ilustrovane, sa kraćim stihovima i bajkama. Nakon toga, zahtevi postaju veći, učenicima se daju knjige sa više teksta i manje slika. Čitanjem narodnih i umetničkih bajki, narodnih pripovedaka, narodnih i umetničkih pesama gradi se nadalje kultura čitanja.

-Za neka književna dela učenici mogu da pripreme pitanja koja će postavljati i na koja će davati odgovore zajedno sa svojim razredom. Na taj način učenici uočavaju na šta treba da obrate pažnju, delo se sagledava sa više stanovišta, a svaki odgovor na postavljeno pitanje postaje potpuniji. Naravno, kroz ovakvu diskusiju položaj učenika treba menjati, odnosno, omogućiti učeniku da bude i onaj koji postavlja pitanja i onaj koji daje odgovore na njih.

-Književne večeri, kao i susreti učenika sa piscima, kritičarima, izdavačima u školi mogu organizovati nastavnici i bibliotekari u saradnji sa roditeljima. Pored ovih susreta mogu se organizovati i takmičenja za najbolji literarni rad, za najbolju pesmu, za najboljeg čitaoca, pošto se na taj način kod učenika se javalja želja za čitanjem, ali i za pisanjem.

-Takođe, kod dece se javlja takmičarski duh u razgovoru o pročitanim knjigama sa drugarima, a i želja da i oni pročitaju knjigu koju je njihov drug pročitao. Takve razgovore treba podsticati kod dece.

-Jedna od bitnih stavki je i usmeravanje dece na udžbenike i priručnike za sve nastavne predmete, kao i na ona dela koja takve sadržaje predstavljaju u formi drugačijoj od one koja je zastupljena u samoj školskoj obaveznoj literaturi. Ovakva dela mogu da zainteresuju učenike i da ih privuku na čitanje i da stvore veće interesovanje za date predmete. Da svoj predmet približe svojim učenicima, nastavnicima će omogućiti dela pisana pristupačnim stilom, lepo ilustrivana i obrađena štiva o pojedinim delovima istorije, geografije, fizike, hemije.

-Nastavnik takođe može da koristi različite strategije sa ciljem da stvori pozitivno okruženje koje podstiče samopouzdanje i motivaciju učenika kao što su tehnike kooperativnog učenja, aktivnosti koje podstiču razvoj kritičkog mišljenja pa čak i igre.

4. FAKTORI KOJI UTIČU NA MOTIVACIJU DETETA ZA ČITANJEM

„Motivacija za čitanjem je pokušaj rešavanja poteškoća u obrazovanju čitaoca. Treba znati da je čitanje veliki intelektualni napor. Teško se primoravamo na čitanje, a još manje želimo spoljne podsticaje i uputstva kako postati dobar čitač. Neka deca sama postaju dobri čitaoci. Oni se kod kuće vode odgovarajućom atmosferom: roditelji čitaju časopise, imaju veliku biblioteku koju koriste, kupuju nove knjige, podstiču čitanje kod dece, podržavaju školske podsticaje vezane za čitanje i knjige...Međutim, takvih porodica nema mnogo” [4].

Od unutrašnjih i spoljnih motivacionih faktora zavisi motivacija za čitanje koja je usko povezana sa uspehom učenika. Iz želje, interesovanja, radosti, radoznalosti i potrebe pojedinaca za čitanjem, nastaju unutrašnji motivacioni faktori, dok spoljni faktori utiču na nesigurnog čitaoca kao snažan podsticaj dobrim ocenama, pohvalama, priznanjima [5].

Motivacija za čitanjem je proces kojem je potrebno posvetiti duži period kako bi bio efektivan. U tome pomažu razni podsticaji za čitanje koji se mogu koristiti u školi ili kod kuće. Cilj nastave čitanja je tečno čitanje sa razumevanjem, što ne bi trebalo da propusti da podstakne detetovu unutrašnju motivaciju da čita i bira materijale po sopstvenom nahođenju. Međutim, ukoliko dete ne želi da čita, sigurno mu se neće svideti ako ga na to nateramo. Najbolji način da se pristupi ovakom problemu je dogovor sa detetom o količini teksta (koje je samo izabralo) koje će pročitati, koliko vremena to mora da pročita, bitno je napomenuti da prinudno čitanje i vremenska ograničenja mogu da stvore još veći otpor ka čitanju [5].

Kada dete nešto čita u prisustvu odraslih, to ga dodatno motiviše. Ova aktivnost može da osnaži i obostrano poverenje. Roditelji, nastavnici i bibliotekari mogu čitati zajedno sa decom i smenjivati se. Čitanjem svakodnevnih sitnica, kao što je lista za kupovinu u prodavnici, naslov časopisa na policama, naziv proizvoda, ulica, naziv prodavnica i putokaza, dete se može podstaći na čitanje. Takođe, u razvijanju i održavanju motivacije učenika za čitanjem važnu ulogu ima školska biblioteka. Neodlučnim čitaocima i onima koji već imaju razvijen otpor prema čitanju može pomoći materijal koji je primeren njihovim čitalačkim veštinama u smislu obima i složenosti teksta [5,6].

5. ZAKLJUČAK

Kada se posmatraju mas-mediji u totalu, primećuje se da knjiga kao medij polako pada začelje, a opšte je poznato da danas deca sve manje čitaju. Nove tehnologije su donele velike promene, a sve se svelo na protok informacija kojima su deca zatrpana sa svih strana. Može se reći da čitanje nije samo jedna od osnovnih veština koje su deci potrebne za školovanje, ona je potreba koja bi trebala da se zadrži tokom celog čovekovog života. Mnogi stariji učenici izbegavaju čitanje, jer zahteva napor. Iz tog razloga je neophodno da nastavnici, bibliotekari, pa i sami roditelji motivišu učenike da što više vremena posvete čitanju knjiga. Kako bi deca bila motivisana da sprovode ovu radnju moraju se sprovesti razne strategije za podstinje motivacije za čitanjem.

Može se zaključiti da se usled tehnološkog razvoja i mogućnosti pristupa različitim izvorima informacija promenio i pristup dece knjizi i čitanju. Obaveza nastavnika i bibliotekara je da se neprestano reaguje na promene u društvu i zadovoljavaju informacione i kulturne potrebe dece, kao i njihove potrebe za zabavom i razonodom.

LITERATURA

[1] Cenić, S. (2013). Književnost za decu i njena uloga u vaspitanju i obrazovanju dece školskog uzrasta. Vranje: Učiteljski fakultet.

[2] Saanović, M. (2016). Kako bajke i priče za decu utiču na razvoj deteta, Moderno roditeljstvo, Zagreb, mart 2016. Preuzeto 19. aprila, 2020. godine na adresihttps://modernoroditeljstvo.com/djeca/kako-bajke-i-price-za-djecu-utjecu-na-razvoj-djeteta/

[3] Podsticanje potrebe za čitanjem kod dece. (2017). Preuzeto 11. Septembra 2020. godine na adresi http://svetozarmarkovic.edu.rs/index.php/sr/saveti/saveti-za-nastavnike/podsticanje-potrebe-za-citanjem

[4] Sarto, M. (2015.). Strategije motiviranja za branje: z izkušnjami slovenskih motivatork in motivatorjev. Medvode: Malinc.

[5] Ademoski, L. (2019). Motiviranje učenika za čitanje. Pogled kroz prozor, Sisak, maj 2019. Preuzeto 12. septembra 2020. na adresi https://pogledkrozprozor.wordpress.com/2019/05/31/motiviranje-ucenika-za-citanje/

[6] Svanović, M. (2016). Kako bajke i priče za decu utiču na razvoj deteta, Moderno roditeljstvo, Zagreb, mart 2016. Preuzeto 19. aprila, 2020. godine na adresi https://modernoroditeljstvo.com/djeca/kako-bajke-i-price-za-djecu-utjecu-na-razvoj-djeteta/

OBRAZOVANJE U POSTMODERNIZMU
EDUCATION IN POSTMODERNISM

Tatjana Marković

Sadržaj - S obzirom na kompleksnost, neodređenost, često i kontradiktornost u razumevanju postmodernizma, u radu se polazi od obezbeđivanja okvira za njegovo razumevanje sa ciljem stvaranja osnove za kritičko razmatranje koje će pomoći u sagledavanju njegovog značaja za obrazovanje/nastavu. Pluralizam u definisanju posmodernizma predstavlja značajni resurs za određivanje njegovih osnovnih karakteristika (diskontinuitet, hetrogenost, kompleksnost, multidimenzionalnost), ali ga zarad boljeg razumevanja stavljamo u širi kontekst i posmatramo u odnosu na tradicionalizam i modernizam. Komparativna analiza kroz ključne elemenate relevantne za razumevanje obrazovanja/nastave daje jasniju sliku i pokazuje da posmodernizam pravi zaokret posmatrajući ključne elemente obrazovanja/nastave kvalitativno drugačije i daje odgovor na pitanje kako se obrazovanje transformiše u skladu sa postmodernim vrednostima. Govoreći o izazovima, dilemama i problemima, ali i perspektivama razvoja obrazovanja/nastave u postmodernizmu pokušavamo da odgovorimo i na sledeća pitanja: Da li postmodernizam predstavlja eroziju obrazovnih standarda, te ga treba tumačiti kao pravac koji teži da ugrozi, odnosno promeni sve, opovrgavajući vaspitanje i obrazovanje/nastavu, školu? Ili možda nudi odgovor na razvoj nauke i tehnologije koji je toliko značajan i brz da utiče na transformaciju na svim planovima ljudskog funkcionisanja, pa i u obrazovanju/nastavi? Ambivalentnost prema postmodernizmu koja je izazvana strahom od neizvesnosti treba preinačiti u otvaranje za različitost, razmišljanje o obrazovanju kao dinamičnom *procesu koji je u izgradnji* i koji jedino tako shvaćen može odgovoriti na potrebe kompleksnog, promenljivog sveta. Rešenje treba tražiti u novim izazovima koje postmodernizam sa sobom nosi, a za šta istovremeno i pruža mogućnosti zbog svoje nedovršenosti.

Ključne reči: . postmodernizam, obrazovanje, nastava, izazovi.

Abstract – Given the complexity, elusiveness, and frequent conceptual inconsistency surrounding the notion of postmodernism, this paper begins by establishing an interpretive framework designed to provide a basis for critical reflection and to enable a more meaningful assessment of its relevance for education and teaching. The plurality of existing definitions represents a valuable resource for identifying the core characteristics of postmodernism—namely, discontinuity, heterogeneity, complexity, and multidimensionality. However, in order to deepen our understanding of the phenomenon, we position it within a broader historical and theoretical context, examining it in relation to traditionalism and modernism. A comparative analysis grounded in key elements essential for understanding education and teaching offers a clearer picture. It demonstrates that postmodernism introduces a substantive shift in the interpretation of these elements, providing insights into how education is being transformed in accordance with postmodern values. In addressing the challenges, dilemmas, and developmental prospects of education and teaching within a postmodern context, we pose the following questions: Does postmodernism entail an erosion of educational standards and therefore represent a movement aimed at undermining or radically altering established concepts such as upbringing, education, teaching, and school? Or does it, perhaps, provide a response to the rapid and profound development of science and technology, which is reshaping all spheres of human existence, including education? The ambivalence toward postmodernism—much of which stems from a fear of uncertainty—should be transformed into openness to diversity, enabling us to conceptualise education as a dynamic and evolving process capable of addressing the demands of an increasingly complex and changeable world. Solutions should be sought within the new challenges brought forth by postmodernism, which simultaneously constitutes a space of new possibilities, particularly when its inherently unfinished nature is taken into account.

Keywords*:* postmodernism, education, teaching, challenges.

1. UVOD

Razumevanje obrazovanja/nastave u postmodernizmu sa sobom nosi mnoge nepoznanice. Tome doprinosi odnos prema postmodernizmu koji se često percipira kao nejasan, neizvestan, nesiguran, čak i nepotreban novitet. Sa druge strane, postmodernizam jeste deo pedagoške stvarnosti koji poziva na lično preispitivanje i na učešće svih u preispitivanju odlika savremenog obrazovanja i mogućnosti da se sopstvenim delovanjem daju odgovori na nove izazove i doprinese promeni.

Tatjana Marković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: tatjana.markovic@akademijanis.edu.rs)

S obzirom na kompleksnost, neodređenost, često kontradiktornost i celokupnu pometnju u vezi sa terminom postmodernizam, rad polazi od obezbeđivanja okvira za njegovo razumevanje, ali ne sa ciljem polemičkih uopštavanja štetnih po posmodernizam, već sa ciljem stvaranja osnove za kritičko razmatranje koje će pomoći u sagledavanju njegovog značaja za obrazovanje/nastavu.

2. ODREĐENJE POSTMODERNIZMA

Po pitanju određenja postmodernizma postoje različita, često neusklađena mišljenja koja se kreću od poricanja ovog fenomena u korist kasne moderne, preko "antiteze modernizmu", do određenja da je on "i jedno i drugo, i ni jedno ni drugo". Prisutni su i pokušaji određenja postmodernizma kao nove društvene formacije nastale (sa neslaganjem oko

vremenskog okvira) nakon industrijskog kapitalizma. Grozdanka Gojkov [6] postmodernizam određuje kao opšti kulturni fenomen koga karkterišu dvosmislenost, raznolikost, upitnost nad postojećim pravilima. Neki autori poriču ovaj fenomen u korist kasne moderne i naglašavaju da postmoderni način života nije još nastupio i da mi živimo u vreme kasne moderne, tako Razpotnik postmodernizam naziva "drugim modernizmom" [2, str. 108]. Pregledom literature srećemo se i sa pokušajima određenja posmodernizma preko onoga što on nije. Naime, reč je o autorima koji ne smatraju da znanje ima čvrst temelj, te se protive verovanju u jednu verziju istine, i ne smatraju da u nauci i razumu leži rešenje svih čovekovih problema [3, str. 820]. Drugi autori postmodernizam određuju preko bliskih i srodnih pojmova koji ga karakterišu: dekonstrukcija, mnoštvo, različitost, interdisciplinarnost, interaktivnost, sumnja, mističnost …i dr [4]. Linda Hačion postmodernizam vidi kao "protivrečan fenomen koji upotrebljava i zloupotrebljava, gradi i ruši same pojave koje izaziva …" [5, str. 16], i dodaje „…on ne označava ni jednostavan ni radikalan raskid sa modernizom, ni pravolinijski kontinuitet: on je i jedno i drugo, i ni jedno ni drugo" [5, str. 40]. Deo problema u razgraničavanju moderne i postmoderne Radulović vidi u tome što se radi o periodima koji nisu završeni ili čak koji su (što važi za postmodernu) tek započeli (ako su započeli), te njihove odlike još uvek nisu potpuno jasne [1, str. 11]. S obzirom na teškoće u određenju postmodernizma i nesaglasnosti među postmodernistima šta je ta pojava, javlja se i zapitanost, koju iznosi Danilović, o potrebi da se postmodernizam definiše [4].

Posledica neodređenosti, kako primećuju brojni teoretičari, je da postmodernizam jedan od najviše zloupotrebljavanih i najkonfuznijih termina [1]. S obzirom na kompleksnost, neodredenost i celokupnu zbrku koja je povezana sa samim terminom nećemo dalje ulaziti u definisanje postmodernizma. Uzdržavajući se od bilo kakvih polemičnih uopštavanja štetnih po postmodernizam saglasićemo se sa autorima koji smatraju da postmodernizam možemo razumeti samo kao "traganje koje ostavlja izvesne tragove" [1, str: 11].

Pluralizam u definisanju posmodernizma, pored celokupne zbrke koja je povezana sa njim, predstavlja resurs pri pokušaju određenja njegovih osnovnih karakteristika (različitost, neodređenost, nestabilnost, nepredvidivost, višeznačnost, subjektivnost, delimično znanje, parcijalne istine, diskontinuitet, heterogenost, kompleksnost, multidimenzionalnost), ali ne i dovoljan. Postmodernizam i dalje izgleda nejasno, previše „rasuto" i prilično apstraktno. Zarad biljeg razumevanja postmodernizma i njegovih implikacija na obrazovanje/nastavu, postavićemo ga u širi kontekst i posmatrati u odnosu na tradicionalizam i modernizam.

3. TRADICIONALNA, MODERNA I POSTMODERNA VIZURA OBRAZOVANJA/NASTAVE

Komparativna analiza koja poredi tradicionalizam, modernizam i postmodernizam po ključnim elementima relevantnim za razumevanje obrazovanja/nastave (cilj i svrha obrazovanja/nastave, nastavni program/kurikulum, sadržaji, nastavne metode, položaj i uloge nastavnika i učenika, obrazovna institucija, kvalitet uloga obrazovanja u društvu) i vrednostima na kojima se zasnivaju, daće jasniju sliku postmodernizma i njegovih implikacija na obrazovanje/nastavu.

Tradicionalizam obrazovanje posmatra kao spoljašnje oblikovanje koje se kontroliše preko sadržaja obrazovanja, učenje kao transmisiju znanja, a njegovu svrhu u posedovanju informacija i širokoj obrazovanosti (ali ne za sve). Nastavni program je uniforman, propisan, zatvoren, usmeren na sadržaje i ciljeve. Ciljevi nastave su usvajanje znanja. Sadržaji nude široko opšte obrazovanje i daju „znanje radi znanja" koje je često nerelevantno za život. Karakteriše ga jedna metoda: predavanje, učenje iz udžbenika. Nastavnik je nosilac nastavnog procesa i glavni izvor znanja a učenici pasivni primaoci znanja. Obrazovna institucija se posmatra kao mesto u kome se realizuje zadati program. Kriterijum za kvalitet obrazovanja u nastavi je ostvarenost programa. Vrednosti na kojima se zasniva: istina, red, poslušnost i moral.

Modernistička vizura obrazovanja i nastave osim međusobnih razlika ima i neke važne zajedničke odlike sa tradicionalističkom. Obrazovanje se posmatra kao spoljašnje oblikovanje, obrazovanje u nastavi kao aktivna konstrukcija znanja, usmerena ka unapred postavljenim ishodima kao ciljevima programa. Nastavni program je propisan, usmeren na ishode. Ciljevi nastave su zadati od donosioca programa, i potenciraju razvoj praktičnih i kognitivnih veština, ishodi su merljivi. Zalažu se za primenu različitih metoda i tehnika aktivnog učenja. Među učenicima ne postoje razlike, oni se percipiraju kao nezreli i zavisni, ali se od njih očekuje da budu aktivni u konstruisanju znanja. Obrazovna institucija se posmatra kao mesto u kome se realizuje zadati program, te je odgovorna za ispunjavanje propisanih zahteva. Kriterijumi za kvalitet su efikasnost, ostvarenost ishoda predviđenih programom, porast u učeničkim postignućima. Vrednosti na kojima se zasniva modernistička vizura obrazovanja su: napredak, nauka, racionalnost.

Postmodernisti obrazovanje posmatraju kao etički proces, a njegovu svrhu vide u prihvatanju različitosti. Kurikulum je raznolik u zavisnosti od konteksta i aktera, otvoren, dinamičan i prilagodljiv. Ciljevi nastave su rekonstruisanje znanja i građenje značenja, te učenje kako se uči. Sadržaji su kontekstualizovani, značajni za aktere, tematski i problemski uređeni. Zalažu se za upotrebu postmetode-dijalog, kritička analiza, dekonstrukcija značenja. Učenici su aktivni subjekti i činioci vlastitog učenja, sposobni da sarađuju i konstruišu značenja. Škola se posmatra kao zajednica koja uči, a nastavnik kao facilitator i moderator procesa učenja. Kriterijumi za kvalitet su multidimenzionalnost, multiperspektivnost, participativnost, građenje značenja kroz zajedničko traganje. Tolerancija, različitost i individualnost čine okvir vrednosnog sistema na kome počiva postmoderno obrazovanje.

Komparativni okvir pokazuje da postmodernizam pravi zaokret i pokušava da promeni status quo ključnih elemenata obrazovanja/nastave posmatrajući ih kvalitativno drugačije. Postmoderne ideje u shvatanjima navedenih komponenti obrazovanja/nastave vidimo kroz prihvatanje različitosti i ne propagiranje jedne istine o stvarnosti, koja se odvija kao

rekonstruisanje i građenje novog značenja kroz razmenu – dijalog svih aktera [1]. Pored kognitivne razmene velika pažnja se pridaje i emocionalnoj razmeni, u kojoj svaki učenik ima prostor i mogućnost za ravnopravno učešće, iz čega se jasno očitava i odnos prema učeniku zasnovan na razumevanju. Nastavni proces se odvija kroz otvoren, kontekstualno osetljiv kurikulum koji omogućava bavljenje relevantnim sadržajima za učesnike tog procesa. Pored kontekstualno osetljivog kurikuluma postmodernisti „razvijaju ideje o značaju konteksta za sve vrste odluka u vezi sa vaspitanjem i obrazovanjem, razmeni i građenju značenja umesto sticanja znanja, te zastupanju raznovrsnih ciljeva, sadržaja i metoda razvijanih u skladu sa kontekstom, kao i otvorenih programa, koji nastaju kroz proces dogovaranja, razmatranja, preispitivanja, uz participaciju i autonomiju svih aktera“ [1, str. 77)]. Dakle, postmodernistička vizura, posmatrano sa aspekta konteksta u kome živimo, predstavlja logičan razvoj ideja po svim pitanjima vezanim za obrazovanje/nastavu.

Uporedno razmatranje pokazuje da tradicionalna, moderna i postmoderna vizura ne samo da daju različite poglede na pojedinačna pitanja o obrazovanju/nastavi, već se može reći predstavljaju celovite načine razumevanja, različite kulture mišljenja zasnovane na različitim vrednostima [1]. One nose različito viđenje ne samo svrhe obrazovanja već i mesta obrazovanja u društvenom kontekstu, te imaju različite posledice za obrazovnu politiku i praksu. Dok tradicionalizam naglašava stabilnost i autoritet, modernizam veru u razum i napredak, postmodernizam otvara prostor za pluralizam, subjektivnost i preispitivanje „dominantnih narativa“. Ključne reči kojima bi se mogle opisati opšte vrednosti na kojima se zasnova postmoderna vizura obrazovanja/nastave su: raznovrsnost, različitost, pluralizam, decentralizacija znanja, heterogenost, kritički pristup i dekonstrukcija, autentičnost i lično iskustvo, fleksibilnost, dijalog i saradnja i emancipacija.

4. POSTMODERNIZAM - IZAZOVI I PERSPEKTIVE

Govoreći o dilemama i izazovima, ali i novim perspektivama razvoja obrazovanja/nastave u postmodernizmu pokušavamo da odgovorimo na sledeća pitanja: Da li postmodernizam predstavlja „eroziju obrazovnih standarda“, te ga treba tumačiti kao pravac koji teži da ugrozi, odnosno promeni sve, opovrgavajući vaspitanje i obrazovanje/nastavu, školu? Ili možda nudi odgovor na razvoj nauke i tehnologije koji je toliko značajan i brz da utiče na transformaciju na svim planovima ljudskog funkcionisanja, pa i u obrazovanju/nastavi, ali sporije nego u drugim segmentima, o čemu govori realnost vaspitno-obrazovne prakse.

Glavni izazovi i dileme postmodernizma u obrazovanju proizilaze iz njegovih osnovnih ideja:

Relativizam istine i znanja. Jedna od osnovnih ideja postmodernizma je da ne postoji jedna istina, jedno tačno znanje, već znanje uvek odražava shvatanja, vrednosti pojedinih grupa, pojedinih uglova gledanja, pojedinih lokaliteta [1]. Na osnovu ravijanje ideje o značaju konteksta za sve vrste odluka u vezi sa obrazovanjem, razmeni i građenju značenja umesto sticanja znanja, upotrebi raznovrsnih ciljeva, sadržaja i metoda razvijanih u skladu sa kontekstom, kao i otvorenih programa koji nastaju kroz proces dogovaranja, razmatranja, preispitivanja uz participaciju i autonomiju svih aktera, možemo reći da postmodernizam obrazovanje posmatra kvalitativno drugačije. U vezi s tim javljaju se brojna pitanja: Ako se odbacuje ideja univerzalnog znanja, kako izabrati šta je važno za učenje? Da li škola treba da prenosi „istine“ ili samo različite perspektive? Ili još dublja dilema koju iznosi Haralambos [3] da li se znanje više ne vrednuje zato što donosi istinu već počinje da se doživljava kao roba koja se može kupiti i prodati?

Fragmentacija znanja. Negiranje celovitosti i sistematizacije znanja i odbacivanje „zajedničkog znanja“ dovodi u pitanje izgradnju koherentnog kurukuluma. Ovo stvara dozu dezorjentisanosti u redovima edukatora, koji su naviknuti da posežu za gotovim rešenjima i koji ne znaju kako da ostvare propisane ishode i adaptiraju učenike na postmodernu stvarnost [8]. Osnova nesigurnosti kod nastavnika je u očekivanju recepta za planiranje sadržaja, ishoda, ciljeva, a recepata, niti bilo kakvih standardizovanih modela u postmodernizmu nema.

Uloga nastavnika se bitno menja. On nije više „prenosilac znanja“ i „čuvar istine“ već posrednik i vodič kroz mnoštvo informacija. Umesto oslanjanja na ekspertsko znanje i primenjivanje ispravnog načina podučavanja on je partner u dijalogu, učesnik u građenju konteksta, te se od njega očekuje da olakšava učenicima proces učenja učeći ih kako da uče. Drugim rečima, postmodernizam traži transformaciju položaja nastavnika u autonomnog profesionalca [7], što zahteva veliku istančanost u sagledavanju različitih potreba i perpektiva učenika. Menjanje i umnožavanje nastavničkih uloga (kreator okruženja, refleksivni praktičar, medijator, digitalno pismen vodič) i njihova kompleksnost nameću brojna pitanja: Kako se izboriti sa višestrukim ulogama? Kako planirati nastavu i zadovoljiti različite potrebe? Kako umesto reprodukcije znanja podstaći kritičko mišljenje? Kako voditi rasprave koje nemaju „jedan tačan odgovor“? Posmodernisti ne vide razloge za izgradnju konzistentnog shvatanja nastavnika i nastavničkih uloga. „Oni smatraju da je to relativno i uslovljeno kontekstom u kome nastaju različita shvatanja, značenja i posledice shvatanja za konkretnu praksu i to kroz razmenu svih aktera obrazovnog procesa, pre svega samih nastavnika“ [1, str.87].

Multikulturalnost i identitet. Postmodernizam afirmiše različitost kultura, rodova i identiteta i zagovara multikuturalno obrazovanje. Kreiranje učioničkog konteksta koji je replika konteksta realnog sveta iz koga dolaze učenici i polaznici je jedan od važnih zadataka nastavnika koji obezbeđuje multiperspektivnost, multikulturalnost, interkulturalnost [7]. Uvažavanje učenika iz različitih kultura i različitih konteksta kojima se linearno ne prenosi znanje već se upućuju na nove puteve kojima će doći do informacija koje su za njih relevantne, zahteva razvijenost multikulturalnih kompetencija nastavnika. Multikulturalno obrazovanje pretpostavlja kako promene na planu uverenja, stavova i vrednosti učesnika u obrazovnom procesu, tako i promene obrazovnog sistema koji treba da te stavove i vrednosti učini održivim.

Kritika moći i institucija. Postmodernizam preispituje autoritet škola, nastavnika, države. Postmoderna shvatanja

škole idu od radikalnih zahteva za potpuno ukidanje škole kao institucije kakvu poznajemo (Ivan Ilič) do shvatanja škole bitno drugačijeg od modernističkog. Transformisane škole, zasnovane na novim osnovama počivaju na drugačijim odnosima i demokratskim vrednostima: participativnost, partnerski odnosi, autonomija, deljenje moći. Kritika škole nije odbacivanje obrazovanja, već poziv na demokratizaciju i humanizaciju obrazovanja (različito obrazovanje za različite ljude, posebno za ugrožene i nemoćne). Oni školu vide kao prostor demokratske prakse zajednice [1]. Osnovno pitanje je kako reformisati obrazovne institucije viđene kao instrument moći, a ne urušiti sam sistem obrazovanja? Ni za ovo, kao ni za sva prethodna pitanja, postmodernisti ne daju recept, već ističu da način organizovanja školske delatnosti zavisi od konteksta, te i da pravci mogu biti različiti.

Evaluacija i standardi. Ako se znanje posmatra subjektivno, ustaljeni oblici ocenjivanja (testovi, ispiti) gube smisao. Kako pratiti i meriti napredak i uspeh učenika bez univerzalnih kriterijuma? Kako obezbediti pravičnost i objektivnost? Kako „izmeriti" znanje? Potmodernizam negira jedinstvenu istinu i objektivno merenje, ali nude nove perspektive. Naime, umesto testova, ispita i brojčanih ocena nude alternativne prakse ocenjivanja: somoprocena, refleksija, grupna evaluacija. Radulović ističe da brigu fokusiranu na ishode treba zameniti razmišljanjem o svim dimenzijama prakse. To dalje znači nepostavljanje univerzalnih ishoda, mera, shvatanja kvaliteta uzimanjem u obzir perspektiva različitih aktera i uključivanje svih aktera u dijalog [1].

Tehnologija i informacijsko društvo. Postmodernisti digitalnu kulturu vide kao karakteristiku postmodernog sveta u kome se brišu granice između stvarnog i virtuelnog, pravi „otklon od velikih istina" i autoriteta i razvija otvorenost za paralelne narative i interaktivno konstruisanje znanja kroz digitalne mreže. Izazovi su brojni. Kako razlikovati znanje od informacija? Kako se snaći u digitalnom okruženju i kako koristiti tehnologiju kao alat, a ne kao zamenu za učenje? Kako razvijati kritičko mišljenje u vremenu „informatičkog haosa"? Kako razumeti nove generacije i odgovoriti na njihovu perceptivnu realnost koja se drastično promenila? Kako memorisanje zameniti kultivisanjem receptivnosti i samoekspresije? Bez obzira na mnoge benefite najnovije obrazovne tehnologije, digitalizacije, virtuelne stvarnosti i veštačke inteligencije, postmodernisti otvaraju i pitanje nadzora i kontrole. Umesto „velike kontrole" koja dolazi „odozgo" oni zagovaraju kritičku pismenost i kontrolu tehnologije od strane svakog korisnika.

Glavni izazovi obrazovanju u postmodernizmu proizilaze iz njegovih osnovnih ideja koje donose nesigurnost, relativizam i gubitak jasnih granica, kriterijuma i orjentira. Ali, postmodernizam ne ruši sve stare vrednosti, niti predstavlja „haotično odbijanje svega", „on nas uči da budemo skeptični prema dominantnim paradigmama u obrazovanju koje uzimamo zdravo za gotovo, bile one liberalne, konzervativne ili progresivne" [3, str. 819]. Sa druge strane otvara mogućnost za alternativne puteve obrazovanja koje će biti relevantno za 21. vek.

5. ZAKLJUČAK

Obrazovanje/nastava u postmodernizmu jeste u stanju "zbunjenosti". Umesto nagađanja i negiranja postmodernizma koje je izazvano strahom od neizvesnosti bolje je suočiti sa njim, jer ako želimo održivu budućnost moramo se potruditi i sadašnje obrazovanje preobraziti u *obrazovanje za budućnost*. Drugim rečima, ambivalentost prema postmodernizmu koja je i te kako prisutna, trebalo bi preinačiti u otvaranje za različitost, razmišljanje o obrazovanju kao dinamičnom *procesu* koji je *u izgradnji* i koji jedino tako shvaćen može odgovoriti na potrebe kompleksnog, promenljivog sveta. Rešenje treba tražiti u novim izazovima koje postmodernnizam sa sobom nosi, a za šta istovremeno i pruža mogućnosti zbog svoje nedovršenosti.

LITERATURA

[1] Radulović L. Slike o nastavniku – između moderne i posmoderne, Beograd, Filozofski fakultet Univerziteta u Beogradu i Centar za obrazovanje nastavnika, 2016.

[2] Razpotnik Š. Mladi u postmodernizmu. U Macura-Milovanović (ur.)Socijalna pedagogija u nastajanju – traženje odgovora na problem društvenp isključenih grupa. Jagodina; Pedagoški fakultet, 2010. str. 107-118.

[3] Haralambos H. Sociologija: Teme i perspektive.Zagreb: Golden marketing; 2002.

[4] Danilovič D. Modernizam, postmodernizam i teorija sadržaja obrazovanja u SAD. Pedagogija, 2008, 2:137-182.

[5] Hačion L. Poetika postmodernizma: istorija, teorija, fikcija. Novi Sad: Svetovi; 1996.

[6] Gojkov G. Didaktika i postmoderna: Vršac:VŠV, 2006.

[7] Mihajlović D. Postmodernizam i novi kvaliteti obrazovanja. U: Stančić M, ur. Kvalitet u obrazovanju – izazovi i perspektive. Beograd: Filozofski fakultet; 2012. str. 131-145.

[8] Filipović N. Obrazovanje u postmoderna vremena: između dva diskursa. Pedagogija. 2011; 66(4):608-619.

ULOGA MATEMATIČKOG RAZMIŠLJANJA U PROGRAMIRANJU: LOGIČKA I FUNKCIONALNA PARADIGMA

THE ROLE OF MATHEMATICAL REASONING IN PROGRAMMING: LOGIC AND FUNCTIONAL PARADIGM

Dunja Stojanović i Milica Cvetković

Sadržaj – Matematičko razmišljanje predstavlja osnovu većine modernih programskih paradigmi. Logičko i funkcionalno programiranje posebno jasno ilustruju kako se formalni matematički modeli mogu direktno pretočiti u program. Prolog, zasnovan na predikatskoj logici, i Lisp, zasnovan na lambda računu i funkcijama višeg reda, predstavljaju paradigme u kojima se matematička formalnost ne krije iza sintakse, već postaje sastavni deo načina razmišljanja i rešavanja problema. U ovom radu detaljno su prikazani matematički temelji ovih paradigmi, njihova primena, kao i primeri koda koji jasno pokazuju kako matematičke definicije postaju programske implementacije.

Ključne reči: Matematičko razmišljanje, logička paradigma, funkcionalna paradigma, Prolog, Lisp.

Abstract – Mathematical reasoning underlies the structure of most contemporary programming paradigms. Logic and functional programming clearly demonstrate how formal mathematical models can be translated into program. Prolog, founded on predicate logic, and Lisp, grounded in lambda calculus and higher-order functions, exemplify paradigms in which mathematical formalism directly shapes reasoning and problem-solving strategies. This paper presents the mathematical foundations of these paradigms, their practical applications, and code examples illustrating how mathematical definitions translate into program implementations.

Keywords: Mathematical reasoning, logic paradigm, functional paradigm, Prolog, Lisp.

1. UVOD

Matematika predstavlja osnovu savremenog programiranja i ključni je element u razvoju veštačke inteligencije. Formalni matematički sistemi, poput predikatne logike i lambda računa, obezbeđuju precizne mehanizme za definisanje i modelovanje problema, čime direktno oblikuju teorijske temelje programskih paradigmi Prologa i Lispa [1], [2].

Prolog, kao predstavnik logičkog programiranja, zasniva se na izražavanju znanja kroz skup činjenica i pravila, dok se proces zaključivanja ostvaruje deduktivnim mehanizmima [3], [4]. Nasuprot tome, Lisp počiva na lambda računu i funkcionalnom programiranju, ističući apstrakciju, rekurziju i upotrebu funkcija višeg reda kao centralne koncepte [5], [6].

Cilj ovog rada jeste prikazivanje načina na koje matematički koncepti prelaze u konkretne programske strukture i kako ove paradigme oblikuju specifične stilove matematičkog razmišljanja koji utiču na formulaciju i rešavanje algoritamskih problema.

2. LOGIČKA PARADIGMA: PROLOG

Logička paradigma predstavlja pristup programiranju zasnovan na formalnim principima predikatne logike prvog reda. U ovoj paradigmi, program se ne opisuje kao niz instrukcija, već kao skup logičkih formula koje predstavljaju aksiome domena problema [7].

Dunja Stojanović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: dunja.stojanovic@akademijanis.edu.rs).

Milica Cvetković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milica.cvetkovic@akademijanis.edu.rs).

Prolog, kao najzastupljeniji logički programski jezik, omogućava formalizaciju matematičkih relacija kroz činjenice i pravila. Temelj njegovog izvršenja čine unifikacija i rezolucija, pri čemu rezolucija predstavlja matematičku metodu dokazivanja putem kontradikcije. Preciznije, unifikacija je proces upoređivanja logičkih izraza i pridruživanja vrednosti promenljivima kako bi izrazi postali identični, dok rezolucija kombinuje klauzule sa suprotnim literalima radi izvođenja novih zaključaka. Zbog toga se svaki Prolog program može posmatrati kao skup aksioma, a svaki upit kao teorema koju treba dokazati [8], [9].

Ovakav matematički temelj Prologa omogućava fokusiranje na opisivanje odnosa i pravila koja važe u datom domenu, umesto na precizno navođenje procedura za izračunavanje rešenja.

Matematički definisane funkcije, poput faktorijela ili Fibonačijevog niza, u Prologu su prirodno implementirane u vidu rekurzivnih pravila izvedenih iz njihovih formalnih rekurentnih definicija, što je prikazano u primerima 1 i 2.

Primer1. *Faktorijel*

```
fact(0, 1).
fact(N, F) :- N > 0, N1 is N - 1, fact(N1, F1),
              F is N * F1.
```

Primer2. *Fibonačijev niz*

```
fib(0, 0).
fib(1, 1).
fib(N, F) :- N > 1, N1 is N - 1, N2 is N - 2,
             fib(N1, F1), fib(N2, F2),
             F is F1 + F2.
```

Primer3. *Suma prvih n prirodnih brojeva*

```
suma(N, S).
suma(0, 0).
suma(N, S) :- N > 0, N1 is N - 1, suma(N1, S1),
              S is S1 + N.
```

3. FUNKCIONALNA PARADIGMA

Funkcionalno programiranje predstavlja paradigmu zasnovanu na formalnim principima lambda računa, koji uvodi pojam funkcije kao primitivnog objekta, pri čemu se celokupno računanje opisuje transformacijama funkcija i njihovim primenama [10]. Lisp, jedan od najstarijih i najuticajnijih funkcionalnih programskih jezika, razvijen je kao računska interpretacija lambda računa i kao sistem namenjen simboličkoj manipulaciji podataka [11].

U funkcionalnom programiranju, problem je posmatran na matematički apstraktan način: program je shvaćen kao kompozicija funkcija, a izvršavanje kao proces evaluacije matematičkih izraza [12]. Ovakav pristup omogućava eliminisanje promenljivog stanja i obezbeđuje determinističko ponašanje funkcija, pri čemu se rekurzija koristi kao primarni matematički mehanizam za definisanje nizova, funkcija i procesa izračunavanja.

Lisp ostvaruje ove matematičke koncepte kroz jednostavne, ali moćne strukture podataka zasnovane na listama i kroz upotrebu funkcija višeg reda. U Lispu su funkcije objekti prvog reda, što znači da se mogu prosleđivati drugim funkcijama kao argumenti, vraćati kao rezultati i kombinovati u nove funkcijske izraze. Ovakav model omogućava da se matematičke definicije gotovo literalno prevedu u programski kod, bez oslanjanja na proceduralne korake ili promene stanja.

Savremeni radovi u funkcionalnom programiranju istražuju tipove i efekte u jezicima koji se oslanjaju na lambda račun kao formalnu osnovu. Primer za to je analiza polimorfnih algebarskih efekata, koji proširuju klasične modele funkcionalnih jezika [13].

Mogućnost da se matematičke definicije direktno izraze kroz kod čini Lisp paradigmatskim primerom programskog jezika koji prirodno podstiče matematičko i apstraktno razmišljanje [12], [14].

Rekurzivne matematičke funkcije, poput faktorijela i Fibonačijevog niza, u Lisp-u se implementiraju gotovo identično njihovoj formalnoj definiciji, što je prikazano u primerima 4 i 5.

Primer4. *Faktorijel*

```
(defun fact (n)
  (if (= n 0) 1 (* n (fact (- n 1)))))
```

Primer5. *Fibonačijev niz*

```
(defun fib (n)
  (cond ((= n 0) 0)
        ((= n 1) 1)
        (t (+ (fib (- n 1)) (fib (- n 2))))))
```

Primer6. *Suma prvih n prirodnih brojeva*

```
(defun sumn (n)
  (if (= n 0)
      0
      (+ n (sumn (- n 1)))))
```

4. KOMPARATIVNA ANALIZA PROLOGA I LISPA

Analiza Prologa i Lispa kroz matematičko razmišljanje pokazuje da oba jezika koriste različite pristupe, ali imaju zajedničk cilj, precizno definisanje i rešavanje zadataka kroz matematički okvir. Kroz primere, kao što su izračunavanje sume prvih n prirodnih brojeva i Fibonačijevog niza, jasno se vidi kako svaki jezik razvija poseban stil matematičkog zaključivanja. Prolog omogućava logičku dedukciju i dokazivanje tvrdnji kroz unifikaciju i rezoluciju, dok Lisp primenjuje kompoziciju funkcija i njihovo rekurzivno definisanje [15]. Ovi primeri potvrđuju da, iako se paradigme razlikuju, oba jezika omogućavaju precizno i sistematično rešavanje problema.

5. ZAKLJUČAK

I Prolog i Lisp prikazuju direktnu primenu matematičkog razmišljanja zaključivanja u programiranju, ali kroz različite formalne modele: logiku i funkcije.

Kroz prikazane primere i prethodnu analizu uviđamo da razumevanje matematičkih osnova jezika značajno doprinosi efektivnom rešavanju problema i izboru adekvatne paradigme za specifične zadatke. Imajući u vidu komplementarnost paradigmi, kombinacija logičkog i funkcionalnog pristupa može se koristiti za razvoj kompleksnih algoritama.

LITERATURA

[1] H. B. Enderton, A Mathematical Introduction to Logic. 2nd ed., San Diego, CA: Academic Press, 2001.

[2] M. Balduccini, Y. Lierler, and S. Woltran, Eds., Logic Programming and Nonmonotonic Reasoning: 15th International Conference, LPNMR 2019, Philadelphia, PA, USA, June 3–7, 2019, Proceedings. Cham, Switzerland: Springer, 2019.

[3] L. Sterling and E. Shapiro, The Art of Prolog. 2nd ed., Cambridge, MA: MIT Press, 1994.

[4] W. F. Clocksin and C. S. Mellish, Programming in Prolog. 5th ed., Berlin: Springer, 2003.

[5] P. Norvig, Paradigms of Artificial Intelligence Programming: Case Studies in Common Lisp. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 1992.

[6] A. Church, An Unsolvable Problem of Elementary Number Theory, American Journal of Mathematics, vol. 58, no. 2, pp. 345–363, 1936.

[7] J. W. Lloyd, Foundations of Logic Programming, 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1987.

[8] M. H. Van Emden and R. A. Kowalski, “The Semantics of Predicate Logic as a Programming Language,” Journal of the ACM, vol. 23, no. 4, pp. 733–742, 1976.

[9] F. Aguado, P. Cabalar, B. Muñiz, G. Pérez, and C. Vidal, “Comparing non-minimal semantics for disjunction in Answer

Set Programming," Theory and Practice of Logic Programming, vol. 25, no. 4, pp. 402–416, Aug. 2025.

[10] A. Church, The Calculi of Lambda-Conversion. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1941.

[11] J. McCarthy, "Recursive Functions of Symbolic Expressions and Their Computation by Machine, Part I," Communications of the ACM, vol. 3, no. 4, pp. 184–195, 1960.

[12] B. Pierce, Types and Programming Languages. Cambridge, MA: MIT Press, 2002.

[13] X. Sekiyama, T. Tsukada, and A. Igarashi, "Signature restriction for polymorphic algebraic effects," Journal of Functional Programming, vol. 34, no. 3, pp. 1–25, 2024

[14] H. Abelson and G. J. Sussman, Structure and Interpretation of Computer Programs, 2nd ed. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

[15] D. Azzolini, M. Duca, F. Gallo, A. Ielo, and S. Forti, "Application Placement with Constraint Relaxation," Theory and Practice of Logic Programming, vol. 25, no. 4, pp. 437–454, Sep. 2025

A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF LANGUAGE BARRIERS IN CIVIL ENGINEERING PROJECTS

SVEOBUHVATNA ANALIZA JEZIČKIH BARIJERA U GRAĐEVINSKIM PROJEKTIMA

Danijela Miloradović Stojković i Nenad Stojković

Abstract – Language barriers represent a major challenge in construction project management under conditions of increasing international labor mobility. Multicultural and multilingual worksites increase the risk of misinterpretation of technical instructions, safety procedures, and organizational requirements. This paper examines the causes of language barriers in construction, their potential impacts on safety, operational efficiency, and regulatory compliance, and approaches for improving communication within multicultural project teams. The study is based on a review of relevant academic literature, institutional reports, and selected case studies from both international and domestic practice.

Keywords*:* Language barriers, multicultural communication, construction projects, project management.

Sadržaj – Jezičke barijere predstavljaju značajan izazov u upravljanju građevinskim projektima u uslovima rastuće međunarodne mobilnosti radne snage. Multikulturalna i višejezična gradilišta povećavaju rizik od pogrešnog razumevanja tehničkih uputstava, bezbednosnih procedura i organizacionih zahteva. Ovaj rad razmatra uzroke nastanka jezičkih barijera u građevinarstvu, njihove potencijalne uticaje na bezbednost, operativnu efikasnost i regulatornu usklađenost projekata, kao i pristupe za poboljšanje komunikacije u multikulturalnim projektnim timovima. Analiza se zasniva na pregledu relevantne naučne literature, institucionalnih izveštaja i odabranih studija slučaja iz međunarodne i domaće prakse.

Ključne reči: Jezičke barijere, multikulturalna komunikacija, građevinski projekti, upravljanje projektima.

1. INTRODUCTION

Language barriers in construction project management represent one of the most persistent and underestimated challenges in the contemporary globalized construction industry. Communication stands at the core of all construction and engineering activities; any disruption in the transmission of technical information directly affects safety, quality, schedule, and cost outcomes. Modern construction projects engage workers, engineers, supervisors, subcontractors, and consultants from multiple linguistic and cultural backgrounds. As global mobility intensifies and local labor shortages persist, construction sites increasingly operate as multilingual environments. Under such conditions even simple instructions can be misunderstood, while complex technical directions, safety briefings, and emergency procedures become especially vulnerable to misinterpretation.

Academic studies, supported by regulatory and institutional reports, illustrate the seriousness of this issue. Research [1] demonstrates that immigrant and non-native-speaking construction workers experience 20–30% higher injury and fatality rates compared to native workers, largely as a consequence of limited comprehension of safety instructions, training materials, and hazard warnings. Similar safety disparities have been documented across European and Asian construction sectors, confirming that language barriers represent a persistent and systemic occupational safety risk within the global construction industry.

Danijela Miloradović Stojković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: danijela.miloradovic.stojkovic@akademijanis.edu.rs).

Nenad Stojković, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Katedra za saobraćajnice, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18104 Niš (imejl: nenad.stojkovic@gaf.ni.ac.rs).

2. RESEARCH MOTIVATION

Demographic shifts within the construction labor market constitute the primary driver of growing language diversity. In Serbia, this trend is pronounced. According to the Ministry of Labor, Employment, Veteran and Social Affairs of the Republic of Serbia, more than 50,000 work permits were issued to foreign nationals in 2023 alone. Among them, approximately 19,000 permits were granted to Russian citizens, a consequence largely linked to ongoing geopolitical conditions that have stimulated international labor migration. A further 21,000 permits were issued to workers originating from Turkey, China, India, and Nepal—countries whose nationals are now commonly employed on Serbian infrastructure and industrial construction projects.

Construction workers acquire professional terminology almost exclusively in their native language during their vocational education. Unlike the IT sector, where English terminology is integrated into curricula worldwide, construction training frameworks remain localized. As workers join multinational teams, technical expressions, safety terminology, and procedural instructions often lack consistent translations, increasing the likelihood of misunderstandings. Similar labor patterns are observed internationally: Western Europe relies heavily on migrant labor from Eastern Europe and North Africa; the Middle East draws workers from South and Southeast Asia; while North America employs large Hispanic and immigrant workforces. Research [2] demonstrates that injury and fatality rates among non-native speakers remain considerably higher than among native

speakers, indicating that linguistic diversity remains a systemic safety issue across geographical regions.

3. ROOT CAUSES

The literature identifies several interrelated factors that contribute to communication breakdowns in multicultural construction environments. Rather than functioning as isolated issues, these challenges arise from the combined effects of linguistic complexity, cultural communication norms, and organizational fragmentation. Together, they form the root causes underlying many of the coordination failures, safety incidents, and quality deviations reported in international construction projects.

Linguistic Complexity

Construction communication requires exceptional precision. Instructions governing reinforcement placement, formwork geometry, structural tolerances, excavation levels, mechanical installations, and equipment operation must be fully and precisely understood in order to maintain quality standards and avoid hazardous situations. Technical terminology is difficult even in one language; when translated literally across languages it often loses meaning or introduces ambiguity. Current AI-based translation tools frequently demonstrate weaknesses in dealing with technical vocabulary and contextual phrasing [3-5]. Construction tasks frequently rely on spatial interpretation and procedural knowledge rather than verbal instructions alone, meaning that even partial misunderstandings may result in execution errors.

Cultural and Communication Norms

Language barriers rarely exist independently from cultural communication patterns. Hall's distinction [6] between high-context and low-context cultures remains relevant to construction environments. Workers from high-context cultures often avoid direct questioning in order to preserve harmony or defer to authority. Supervisors from low-context cultures may equate silence with understanding rather than confusion. The interaction of these two styles fosters environments in which misunderstandings persist unaddressed. Cultural perceptions regarding hierarchy, punctuality, and responsibility further complicate task delegation and feedback communication. In [7] author highlighted the significant impact that cultural differences can have on construction project management, drawing from his direct experience as the leader of an international megaproject. He reported that in one host country, it was considered culturally inappropriate—even blasphemous—to state a precise arrival time or deadline when communicating with local stakeholders. Instead, information had to be conveyed using socially acceptable phrasing that was indirect and often ambiguous to external project participants. This communication pattern complicated scheduling, coordination, and performance monitoring, demonstrating how deeply embedded cultural norms can directly affect the effectiveness of project management practices in multicultural construction environments.

Organizational Fragmentation

Modern construction projects involve fragmented organizational structures composed of multiple contractual interfaces and disciplines. Information frequently flows through poorly coordinated channels, leading to "communication silos." Research on megaproject management—including studies of the Panama Canal Expansion—shows that decentralized reporting systems and inconsistent documentation standards are major contributors to coordination failures and schedule overruns [8]. When layered with multilingual communication requirements, organizational fragmentation becomes a critical vulnerability factor.

4. IMPACTS

With regard to the consequences of language barriers for the construction project itself and its stakeholders, several types of impacts have been identified in the literature and classified into categories in this study. These impacts extend beyond isolated communication errors and represent systematic risks affecting project performance, workforce safety, regulatory compliance, and stakeholder relationships. Through a synthesis of available research, the observed consequences are organized into three principal categories that reflect the most critical domains of influence: **Safety Risks**, encompassing accidents and hazardous work conditions driven by miscommunication; **Financial and Operational Consequences**, including cost overruns, productivity losses, delays, rework, and inefficient coordination; and **Legal and Compliance Implications,** addressing violations of regulatory requirements, contractual disputes, documentation failures, and potential liabilities resulting from inadequate understanding of instructions and obligations.

Safety risks

Construction sites represent inherently hazardous environments in which any failure of communication heightens accident likelihood. CPWR [2] reports that migrant and Hispanic workers experience disproportionately higher fatality and injury rates compared to domestic workers. Misinterpreted safety signage, incomplete comprehension of protective equipment requirements, and confusion during evacuation procedures significantly elevate exposure to risks such as falls, machinery accidents, and electrocution. Psychological barriers also contribute; workers who fear embarrassment or disciplinary consequences may avoid reporting unsafe conditions.

Financial and Operational Consequences

Communication breakdowns lead directly to rework, scheduling disruptions, and waste of materials. A Polish residential project [9] reported €4,500 in wasted materials and €1,800 in additional labor costs after Ukrainian workers misinterpreted verbal instructions during concrete footing placement. A Serbian project of constructing a commercial building, in which author of this paper was personally involved, employing Turkish workers experienced incorrect construction of reinforced concrete columns within a staircase

core, generating over €12,000 in costs for demolition and redesign. This illustrates how deficiencies in bilingual supervision and verification processes enabled execution errors during concrete construction. Despite competent labor skills, insufficient communication protocols led to technical deviations requiring costly corrective measures.

Legal and Compliance Implications

Regulatory agencies require safety information to be comprehensible to all workers. OSHA mandates that employers present training materials in languages understood by employees [10]. Noncompliance results in penalties, litigation risks, project delays, and insurance complications. European labor legislation contains similar language accessibility requirements, extending legal accountability across international project operations. Furthermore, research [11] emphasizes that cultural intelligence (CQ) and social capital strongly influence how communication is received and responded to within international construction teams, especially under varying power distance norms.

5. MITIGATION APPROACHES

In response to the documented challenges arising from linguistic, cultural, and organizational barriers in construction environments, the literature proposes a range of mitigation strategies aimed at improving communication effectiveness and project coordination. These approaches operate across multiple levels, combining individual competency development, organizational reform, and technological innovation. Rather than relying on a single intervention, research consistently emphasizes the importance of integrated, multi-layered strategies that align human-centered solutions with procedural structures and supportive digital tools. The following sections present the most widely recognized categories of mitigation measures, starting with interventions focused on workforce capabilities and interpersonal communication practices.

Human-Centered Solutions

Professional interpreters remain indispensable for high-risk, safety-critical communication in multilingual construction environments. Research emphasizes that qualified translators play a fundamental role in overcoming language barriers and ensuring the effective coordination of international construction projects, particularly where technical terminology and procedural clarity are essential [3-5]. Studies focusing on migrant construction workforces further document the prevalence of informal "language work," whereby bilingual workers assume ad hoc interpreting roles using a combination of verbal translation, gestures, visual cues, and digital tools to bridge communication gaps [12]. While such practices support daily operations, they are often unsystematic and insufficient for complex or safety-critical tasks.

Consequently, the literature recommends the formal integration of professional interpreters and multilingual facilitators into construction teams, along with the implementation of structured language training programs and cultural awareness workshops for both supervisors and operatives. Major contractors, including Skanska, have reported positive outcomes from customized language education programs aimed at site personnel, which contributed to improved coordination, reduced misunderstandings, and stronger team cohesion [13].

Organizational and Procedural Reforms

Organizational strategies are equally critical in mitigating multilingual communication risks. Studies highlight the importance of centralized documentation systems, standardized briefing protocols, clear command structures, and written procedures translated into workers' native languages as mechanisms to improve information reliability and traceability [8,14]. Effective implementations often include multilingual safety manuals, pre-task briefings supported by visual aids, and multilingual signage on construction sites.

Furthermore, research demonstrates that direct psychological and organizational barriers significantly affect communication outcomes. Workers in multicultural crews may hesitate to ask clarification questions due to fear of authority, embarrassment, or cultural norms discouraging open disagreement. Consequently, scholars advocate the adoption of psychologically safe communication models, encouraging an environment where workers can request clarification without fear of disciplinary consequences [15]. When combined with clear procedural frameworks, such approaches have been shown to reduce incident rates and enhance operational performance.

Oluwatosin [11] also highlights the importance of stakeholder engagement frameworks that bridge cultural gaps and foster psychologically safe environments for multilingual teams.

Technological Tools

Technological solutions increasingly complement human-centered and procedural interventions. AI-based translation platforms are now commonly used for document processing, safety instructions, and daily coordination tasks. However, academic research consistently notes that automated translation alone remains unreliable when applied to complex technical terminology and culturally nuanced phrasing, leading to the potential for misinterpretation [3,5]. Therefore, professional post-editing and contextual review are strongly recommended, resulting in hybrid translation workflows that combine computational speed with human technical expertise.

Additionally, real-time translation devices and mobile applications have gained traction for routine site communication, supporting immediate interactions across language boundaries. Nevertheless, studies report practical limitations due to ambient noise, accent variability, incomplete technical vocabulary libraries, and the difficulty of capturing spatial or procedural meaning through purely verbal translation [12].

Digital training tools such as VR- and AR-based safety simulations and multimedia instruction modules have demonstrated potential benefits, particularly by reducing reliance on text-heavy communication and enabling visual learning across language groups [16]. Despite these advances,

systematic reviews conclude that the most effective communication strategies in multilingual construction contexts are integrated hybrid approaches combining digital technologies, structured organizational protocols, and professional linguistic support rather than reliance on any single solution.

6. CONCLUDING REMARKS

Language barriers represent a multidimensional operational risk influencing safety performance, economic efficiency, schedule reliability, and legal compliance within construction project management. Evidence presented throughout this study demonstrates that communication failures stemming from linguistic and cultural diversity are not isolated incidents, but systemic challenges embedded in modern multinational project delivery systems. These barriers affect not only frontline task execution but also broader coordination mechanisms, stakeholder communication, regulatory adherence, and organizational trust, thereby amplifying their overall impact on project outcomes.

As international labor mobility continues to grow and construction projects increasingly rely on multicultural workforces, organizations must recognize multilingual communication not as an auxiliary support function, but as a core strategic component of project management practice. Traditional reliance on informal interpreting, ad hoc translation, or assumed comprehension is insufficient for environments characterized by technical complexity, strict safety requirements, and compressed schedules. Instead, communication management must be formally embedded within project planning, resource allocation, safety management systems, and contractual frameworks.

The available research indicates that the most effective mitigation approach is a comprehensive, integrated model combining human-centered initiatives (professional linguistic support, targeted language education, and cultural competence training), organizational reforms (standardized communication protocols, centralized documentation systems, psychologically safe communication environments, and stakeholder engagement frameworks), and technological tools (AI-assisted translation, visual instruction platforms, and digital safety training technologies supported by professional post-editing and contextual review). The convergence of these strategies enables projects to reduce miscommunication-related incidents, enhance teamwork and trust, improve regulatory compliance, and ultimately strengthen productivity and cost control.

Future research should further explore the quantitative relationships between multilingual communication strategies and measurable project performance indicators, including accident rates, rework frequency, schedule deviations, and claims occurrence. Additionally, cross-national comparative studies would deepen understanding of how specific cultural-context variables influence the effectiveness of various mitigation measures. Developing standardized international guidelines for multilingual communication management may also support broader industry adoption of best practices and contribute to the creation of safer, more efficient, and internationally resilient construction project delivery systems.

REFERENCES

[1] Center for Construction Research and Training (CPWR) (2024) Immigrant Workers in Construction: Safety and Health Disparities. Silver Spring, .

[2] A.B. Trueblood, D. Dufoe, R.D. Brooks, and W. Harris, „Hispanic Construction Workers: Employment, Business Ownership, and Injury Trends". Silver Spring, MD: Center for Construction Research and Training (CPWR), 2024

[3] C. Kränzler, "Machine translation in specialised communication: Challenges in technical terminology and context processing", The Journal of Specialised Translation, 33, pp. 23–39, 2020

[4] L.Koskela, "Why is management research irrelevant?", Construction Management and Economics, 37(1), pp. 1–9, 2019

[5] G. Canavese, "Artificial intelligence and machine translation in technical communication: Opportunities and limitations", Journal of Translation Technology, 12(1), pp. 45–58, 2024

[6] Hall, E.T. (1976) Beyond Culture. New York: Anchor Books / Doubleday

[7] Z. Matijević, "Management of major international projects", in: Proceedings of the iNDiS 2023 International Scientific Conference: "Integration, Novelty, Design, Interdisciplinarity, Sustainability". Novi Sad: Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, pp. 16–44, 2023

[8] C. Brockmann, G. Girmscheid, "Managing processes in international megaprojects – The case of the Panama Canal Expansion Project", in: Proceedings of the CIB World Congress 2010. Salford, United Kingdom.

[9] Case study: Language barriers caused costly delays on a construction site', Remato Blog, 5 April. Available at: https://remato.com/blog/language-barriers-on-construction-site/ (last accessed: 02 September 2025)

[10] Forensis Group (2025) 'Language barriers and construction safety: A legal and human risk in 2025'. Available at: https://www.forensisgroup.com/resources/expert-legal-witness-blog/language-barrier-is-detrimental-to-safety-in-the-construction-industry (last accessed: 02 September 2025)

[11] E.A. Oluwatosin, "The influence of cultural and social factors on international construction project management", International Journal of Research Publication and Reviews, 5(7), pp. 1871–1878, 2024, https://doi.org/10.55248/gengpi.5.0724.1757

[12] M. Álvarez, S. Zhang, and H. Lingard, "Building bridges: The bilingual language work of migrant construction workers", Construction Management and Economics, 40(6), pp. 477–490, 2022, https://doi.org/10.1080/01446193.2022.2033844

[13] Treible, N. "How Skanska created Wake Tech's "Spanish for Construction" course", Skanska USA – Constructive Thinking, https://www.usa.skanska.com/who-we-are/media/constructive-thinking/how-skanska-created-wake-tech-s-spanish-for-construction-course/ (last accessed: 02 September 2025)

[14] C.S. Okoro, C.S. and M.C. Washington, "Workforce diversity and organizational communication: Analysis of human capital performance and productivity", Journal of Diversity Management, 7(1), pp. 57–622, 2012, https://doi.org/10.19030/jdm.v7i1.6933

[15] A. Edmondson, "Psychological safety and learning behavior in work teams", Administrative Science Quarterly, 44(2), pp. 350–383, 1999, https://doi.org/10.2307/2666999

[16] S. Bahn, L. Barratt-Pugh, "Evaluation of the effectiveness of health and safety training in the construction industry", Education and Training, 60(7–8), pp. 765–780, 2018, https://doi.org/10.1108/ET-03-2018-0066

HOLISTIČKA PARADIGMA I RANO DETINJSTVO – PEDAGOŠKE PERSPEKTIVE U KONTEKSTU SAVREMENOSTI

HOLISTIC PARADIGM AND EARLY CHILDHOOD – PEDAGOGICAL PERSPECTIVES IN THE CONTEMPORARY CONTEXT

Milan Miljković

Sadržaj – Primarni fokus teorijsko istražvačkog opservatorija bavi se sagledavanjem pedagoških perspektiva u ranom detinjstvu kroz kontekst holističke vaspitno obrazovne - obrazovne paradigme. Prvi deo rada bavi se sagledavanjem epistemoloških pozicija paradigme razumevanja naspram paradigme objašnjavanja pokazujući kroz komparativnu analizu ključne sličnosti i razlike u kontekstu mehanicističke i holističke paradigme u vaspitnju. Drugi deo rada bavi se osnovom kritičkog postulata holističke paradigme kao i vezom sociokulturnih konteksta sa prirodom razvoja u ranom detinjstvu. Teorijska analiza ima tendenciju ka afirmaciji holističkih pozicija i perspektiva u pristupu ranom detinjstvu, usmrenih ka mogućnosti aktualizovanja, očuvanja i održanja pozicije deteta i detinjstva kao uzajamno rodno – razvojnog kontinuuma u društvenom zbivanju i realnosti.

Ključne reči: holistička paradigma, rano detinjstvo, iskustvo, razvoj

Abstract – The primary focus of the theoretical research observatory is to examine pedagogical perspectives in early childhood within the context of a holistic educational paradigm. The first part of the paper addresses the epistemological positions of the paradigm of understanding versus the paradigm of explanation, showing through comparative analysis the key similarities and differences within mechanistic and holistic paradigms in education. The second part of the paper discusses the foundations of the critical postulate of the holistic paradigm, as well as the connection between sociocultural contexts and the nature of development in early childhood. The theoretical analysis tends toward affirming holistic perspectives in approaches to early childhood, oriented toward the possibility of actualizing, preserving, and sustaining the position of the child and childhood as a mutually generative developmental continuum within social events and reality.

Keywords*:* holistic paradigm, early childhood, experience, development

1. UVOD

Pitanje obrazovnih paradigmi i povezano sa njim, građenje kvaliteta obrazovnih politika u segmentu globalnih, naučnih, tehnoloških i kroskulturalnih realnosti i zbivanjima 21-og veka, eksplicitno otvara i predisponira društveni, naučni i stručni diskurs o prirodi pristupa vaspitanju i obrazovanju u ranom detinjstvu. Pomirljivost pristupa očuvanju celovitisti nege, vaspitanja i obrazovanja u ranom detinjstvu u ovom kontekstu sagledani su u perspektivi holističke vaspitno – obrazovne paradigme koja u svojoj postulativnoj osnovi naglašava i ističe holističku prirodu razvoja deteta, integrisanost učenja deteta kao i značaj kategorije odnosa u procesu uspešnog interpersonalnog funkcionisanja i građenja pozitivnog personalnog i kulturološkog identiteta [1].

2. HOLISTIČKA PARADIGMA I VASPITANJE – PARADIGMA RAZUMEVANJA NASPRAM PARADIGME OBJAŠNJAVNJA U KONTEKSTU SAVREMENOSTI

U okvirima teorijsko – metodoloških pardigmi društvenih nauka holistička paradigma dobija svoju poziciju kao pristup koji sagledava pojave u njihovoj celovitosti u odnosu na redukcionizam koji pristupa pojavama „rastavljajući“ ih na njihove sastavne delove.

Milan Miljković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: milan.miljkovic@akademijanis.edu.rs)

Suprotstavljenost pristupa u izučavanju pojava ``celine naspram delova`` ima svoju osnovu u epistmologiji, odnosno teoriji saznanja i istorijski konvencionalno može se mapirati u okviru antičkog atomizama (redukcionizam) i antičkog holizma. Antički redukcionizam/atomizam predstavlja teoriju o kosmosu po kome se kosmos sastoji, odnoso supstituiše kroz beskonačan broj nedeljivih elemenata nazvanih "atomi" (nedeljivi) [2]. Epistemološko polazište aktuelno i danas u društvenim naukama određuje redukcionizam (paradigma objašnjavanja) kao put kojim se celina može objasniti redukcijom (rastavljanjem) na njene sastavne delove [3]. Njoj suprotstavljena epistemološka pozicija, antički holizam (paradigma razumevanja), ima svoju provinijenciju u aristotelijanskoj filosofskoj tradiciji i predstavlja toposnu osnovu holističke paradigme. Osnovna sentenca ovog polazišta i danas se može smatrati postulatom holističke paradigme i sagledava se u stavu po kome je „celina nešto više nego zbir svojih delova“. U odnosu na ljudsko biće, ovaj stav implicira segment po kome subjekt doživljava svet kao organizovanu, svrhovitu, povezanu celinu sinergetski prožetu međusobnim interakcijama [4]. Osnova razmatranja paradigme objašnjavanja i razumevanja jeste u intenciji sagledavanja polaznih koncepcijskih osnova koje se odnose na pitanja sagledavanja prirode ljudskog bića i njegove egzistencije u i sa svetom u najširem smislu poimanja, kao i refleksijama u vaspitno – obrazovnoj teoriji i praksi. Određene studije [5], [6] iz oblasti holističkog obrazovanja ističu jasnu distinkcija u kontekstu mehanicističke obrazovne paradigme (paradigma objašnjavanja) i holističke obrazovne paradigme (paradigma razumevanja). Mehanicistička obrazovna

paradigma prepoznata je kao redukcionistički set tehnika i ideologija, naspram holističke paradigme u obrazovanju koja počiva u ``umu`` i ``srcu`` kako praktičara tako i aktera vaspitnog procesa. Obzirom na značajne razlike na kojima se ukazuje u ključnim postavkama mehanicističke i holističke paradigme, možemo smatrati nalaze studije [5] jednim od značajnijih u kontekstu sagledavanju kvalitativnog odnosa konvencionalno – mehanicističke i nekonvencionalno holističke paradigme vaspitanja. S obzirom na prethodno pomenutu činjenicu dajemo pregled (Tabela 1) komparativnog modela mehanicističke vaspitne paradigme naspram holističke paradigme u vaspitanju i obrazovanju [5] :

Tabela I *Kvalitativno – komparativni prikaz obrazovnih paradigmi*

MEHANICISTIČKA PARADIGMA	HOLISTIČKA PARADIGMA
Vodeća metafora: devetnaesti vek – vek mašine	Vodeća metafora: dvadeset prvi vek – vek mrežne organizacije
Interdisciplinarnost	Transdisciplinarnost
Fragmentacija znanja	Integracija znanja
Sistemska	Holistička
Empirijsko - analitička	Empirijsko – analitička - holistička
Razvoj misli	Razvoj inteligencije
Naučno - dogmatična	Sekularno - duhovna
Fokusirana na znanje	Fokusirana na učenje
Statičan, unapred određen kurikulum	Otvoren, dinamičan kurikulum
Kurikulum fokusiran na discipline	Kurikulum fokusiran na ljudsko znanje
Površne promene u ponašanju	Duboke promene u svesti
Akademske discipline	Bazirano na istrživanju
Mehanicistička psihologija	Perenijalna psihologija
Istrživanje spoljne kvantitativne dimenzije univerzuma	Istraživanje spljašno/unutrašnje i kvantitativno/kvalitativne dimenzije univerzuma
Možemo spoznati planetu bez znanja o sebi	Jedino spoznajući sebe možemo spoznati planetu
Postoji samo jedna inteligencija: matematičko - logička	Postoji najmanje sedam validnih inetligencija
Bazirana na birokratskoj organizaciji	Bazirana na zajednici učenja
Bazirana na mehanicističkoj nauci Dekarta – Njutna - Bekona	Bazirana na vrhunskoj nauci Boma – Prigogina - Pribrama
Paradigma simplifikacije	Paradigma kompleksnosti
Predatorska savest	Ekološka savest

U holističko vaspitno - obrazovnoj paradigmi, osnovna tendencionalnost holističkih pozicija fokusirana je na segmente celovitog i sveobuhvatnog pristupa čovekovom razvoju, uz akcentovanje i uvažavanje ličnosti kao jedinstvene, autentične i neponovljive [7]. Razvojne perspektive ljudskog bića u toposnoj prirodnosti holističkih pozicija mogu se sagledati kao kompatibilni ireverzibilni procesi i višeperspektivni modeli u domenu podrške kontinuiranom i podsticajnom razvoju celoživotnog ciklusa ličnosti [8], koji tendenciozno artikulišu i podstiču ljudski potencijal, snagu i kreativno – stvaralačke resurse. Posebno značajnu činjenicu u kontekstu razumevanja ljudskog bića kao celine [9], čini pristup koji ističe značaj šest bitnih elemenata ljudske supstitucije ključnih za proces usklađenog i celovitog razvoja i njihovog odnosa međuzavisnosti sa integrisanim pristupom učenju. Odnosno, ljudsko biće je integralno biće koje u svojoj supstituciji sadrži i odlikuje se sledećim dimenzionalnim proporcijama: fizičkom, emocionalnom, društvenom, intelektualnom, estetskom i duhovnom dimenzijom koje imaju ključnu ulogu u procesu učenja integrisanog tipa [10]. Tako će holistička paradigma itendirati balans ovih dimenzionaliteta ljudske supstitucije kao ravnotežu neophodnog modela funkcionisanja ljudskog bića, za razliku od mehanicističkog modela koji primat razvojnog toka čoveka pretpostavlja i glorifikuje u i kroz intelektualnu supstituvnu dimenziju podržanu procesom usmerenog učenja. Konačno, u svojoj biti holistička paradigma kroz integrisan pristup učenju modeluje pravovremenu aktivizaciju svih pomenutih dimenzija koji reverzibilno kroz delatno - iskustvenu dimenziju pojedinca ishode kao pokretači celovitog razvoja u periodu ranog detinjstva.

3. RANO DETINJSTVO I HOLISTIČKA PARADIGMA

Za holističku paradigmu u domenu kritičkog razmatranja prirode pozicije čoveka u društvu, može se smatrati značajnim učenje određenih škola filozofsko – kritičkog mišljenja i njihov uticaj na naučni i javni društveni diskurs [11]. Tako jedan od pravaca pod čijim uticajem se kritička osnova holističke paradigme u 20. veku konstituše, jeste naučno – filozofski krug poznat pod imenom Frankfurtska škola. Osnovna delatnost Frankfurtske škole sagledvala se u okupljanju kritički orijentisanih teoretičara društva sa svrhom ukazivanja na društvene krize i dehumanizaciju pozicije čovekove delatnosti u javnom sektoru. Neka od poznatih imena različitih škola mišljenja Maks Horkhajmer (Max Horkheimer), Teodor Adorno (Theodor W. Adorno), Erih From (Erich Fromm), Jirgen Habermas (Jürgen Habermas) okupljaju se u zajedničkoj angažovanosti oko uobličavanja ideacije kritičke teorije društva kojom su želeli ukazivati na nužnost menjanja onih struktura u socijalnoj realnosti koje reprodukuju ugnjetavalačke i eksploatatorske forme egzistencijalne stvarnosti pojedinca [11]. Dalekosežnost i obimnost zahvata kritičkih analiza društvene stvarnsti pod okriljem Frankfurtske škole implicitno ukazuju na istorijsku osnovu društvenog diskursa koji svoju tendenciju aktuelnosti problema prenosi u još kulminirajućoj formi društvene i kulturološke stvarnosti 21. veka, kojoj kao supkostituent društvene stvarnosti pripada i detinjstvo. U tom kontekstu, socio - kulturološke dimenzije razvoja deteta i detinjstva, ukazuju na važnost činjenice odnosa socio – kulturoloških konteksta i detinjstva, odnosno, celovitost dečjeg razvoja i

učenja uslovljeni su različitom prirodom socio - kulturoloških konteksta koji kvalitativno utiču na oblikovanje personalnog i grupnog identiteta [12]. Tendencionalnost pripadnosti deteta određenoj društvenoj i kulturnoj zajednici kroz priznavanje ili legitimnu verifikaciju, utiče reverzibilno u odnosu na dete i detinjstvo u procesu normiranja individualnnog i kolektivnog prava, slobodu participacije u socijalnim aktivnostima, formiranje i usvajanje zajedničkih vrednosti i oblikovanju svesti o sebi i odgovornosti suživota u zajednici [13]. Indikativno, sa aspekta sociokulturoloških pozicija, odnosno, posmatrano u perspektivi kulturološkog i sociološkog dimenzionaliteta, ljudski razvoj predstavlja kulturni proces [12], pri čemu se ljudsko biće u svojoj filogenetskoj osnovi definiše sa pozicija njegovog kulturnog učešća kao *homo socialis.* Za rano detinjstvo i prirodu participacije u socijalnom kontekstu, ovde je važno naglasiti pojam posrednog i neposrednog iskustva kao i prirodu njihove pragmatične funkcije za razvoj i učenje deteta u ranom detinjstvu. Prema posrednoj funkciji iskustva, biološko i kulturno nasleđe predstavlja pripremu za korišćenje i upotrebu jezika i pismenosti i drugih kulturnih sredstava. Deca kao aktivni participanti društvenog zbivanja bivaju „uronjena“ u kolektivno sećanje događaja - iskustava prethodnih generacija koja nisu lično iskusila dajući im specifično kontekstualno značenje u odnosu na sociokulturni kontekst kao životmo polje učenja i razvoja. Prema neposrednoj funkciji iskustva, u procesu korišćenja kulturno - potpornih sredstava jezičko – simboličke prirode u ranom detinjstvu [14], proces učenja konstituiše se kao aktivni socijani proces, odnosno kao proces učenja jedni od drugih posredovanjem kulturno – potpornih sredstava u okruženju kroz neposredno učešće participanata (dece) putem iskustvenog čina. Za holističku paradigmu u vasptanju u fokusu su pitanja koja se odnose na segmente amplificiranja ljudskog iskustvenog čina, odnosno, kako ljudsko iskustvo može biti prošireno, kako može biti obogaćeno, kako se može učiniti smislenijim.

4. UMESTO ZAKLJUČKA

Aktuelnost pitanja o pozicijama subjekta u datoj realnosti eksplicitno je razmatran u 20. veku kroz pluralizam teorijskih stanovišta Frankfurtske škole u filozifiji, psihologiji, sociologiji, antropologiji koje indikativno ukazuju na sferu krize otuđenja i eksploatacije čoveka. U tom smislu, multidisciplinarnost kao jedna od karakteristika holističke paradigme može se sagledati kao forma eklikticizma, spoja demokratsko – inkluzivne vaspitne prakse uz potenciranje ljudskog iskustva koje nije samo materijalnog kvaliteta, već svoju osnovu nalazi i u kontekstu duhovno delatne sfere kroz aktivnu socijalnu participaciju i delanje subjekata [10]. Ovim se artikuliše jedna od osnovnih intencija holističkog pristupa u vaspitanju po kome sagledavanje teorijskih polazišta o detetu i detinjstvu jesu u pristupu poziciji dečjeg razvoja u njegovoj sinergetskoj celovitosti u odnosu na društvenu realnost koja identifikuje dete i detinjstvo kao afirmativne i važne društvene supkulture sa svojim vrednostima, tradicijama, jezikom, funkcijama [15].

Kontekst celovitosti ljudskog razvoja primarno potenciran kroz holistički pristup, deklariše jedinstvenost usklađenog razvoja, po kome određeni aspekti nisu parcijalno razvojnog kvaliteta već su međusobno povezani i preklapajući kako u sveri unutrašnje (intrasubjektivne) organizacije kao intrapersonalni domen ličnosti, tako i u sferi odnosa prema fizičkom i socijalnom svetu i okruženju [10]. Odnosno, ovaj potonji segment ima svoju sferičnost i dinamičnost razvoja na relaciji odnosa pojedinac – drugi ljudi – svet – okruženje, čime je pretenzija holističkog pristupa u vaspitanju i obrazovanju prvenstveno u oblasti ljudske delatnosti, odnosno životnog iskustva koje objedinjuje i oblikuje doživljajnu sliku celovitosti ljudskog bića i njegovog celoživotnog razvoja. Posmtrano iz perspektive svrhovitosti, istinski napori holističkog pristupa u ranom detinjstvu putem vaspitanog procesa intencionalno su usmereni na uključivanje, razvijanje i ostvarivanje ljudskih potencijala kroz i u odnosu sa svetom u kome živi, implicirajući kokonstrukciju, građenje i kritički odnos sa njim.

LITERATURA

[1] D. Pavlović Breneselović, "Odnosi na ranim uzrastima." U: Baucal, A.(ur.) Standardi za razvoj i učenje dece ranih uzrasta u Srbiji. Beograd: UNICEF i Institut za psihologiju Filozofksi fakultet Beograd (2012): 133-149.

[2] Kirk, Geoffrey Stephen, John Earle Raven, and Malcolm Schofield. The presocratic philosophers: A critical history with a selection of texts. Cambridge: Cambridge university press, 1983.

[3] B. V. Popović , Bukvar teorije ličnosti, Beograd: Centar za primenjenu psihologiju, 2002.

[4] Aristotel, Metafizika, Beograd: Kultura, 1971.

[5] G. Nava, et al. Holistic education: Pedagogy of universal love. Brendon: Foundation for Educational Renewal, 2001.

[6] R. Miller, The self-organizing revolution: Common Principles of the Educational Alternative Movements. Brandon: US. Psychology Press/Holistic Education Press, 2008.

[7] K. S. Hol i G. Lindzi, Teorije ličnosti, Beograd: Nolit, 1978.

[8] J. Valsiner, Čovekov razvoj i kultura. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, 1997.

[9] R. Miller, "Philosophical sources of holistic education." Journal of Values Education 3.10 (2005): 1-9.

[10] S. Mahmoudi, et al. "Holistic education: An approach for 21 century." International Education Studies 5.2 (2012): 178-186.

[11] M. Jay, The dialectical imagination: A history of the Frankfurt School and the Institute of Social Research, 1923-1950. No. 10. California: Univ of California Press, 1996.

[12] B. Rogoff, The cultural nature of human development. Oxford: Oxford university press, 2003.

[13] B. Rogoff, et al. "Firsthand learning through intent participation." Annual review of psychology 54.1 (2003): 175-203.

[14] L.Vigotski, Mišljenje i govor. Beograd: Nolit, 1977.

[15] I.S. Kon, Dete i kultura. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, 1988.

RODITELJI SA POSEBNIM POTREBAMA
PARENTS WITH SPECIAL NEEDS

Ivan Stamenković i Marija Novaković

Sadržaj - Premisa istraživanja ogleda se u uverenju istraživačkog tima da opadanje kvaliteta znanja svršenih osnovaca nije bazirano na nekakvim suštinskim razlikama između generacija dece, niti na značajno nižem kvalitetu nastave, već je više rezultat različitih očekivanja roditelja, društva, a kroz njih indirektno i učenika. Zaključak koji se nametnuo je da postoji gotovo opšte nezadovoljstvo stanjem u kojem se nalazi naše obrazovanje i smerom u kojem se kreće, a da su uverenja roditelja i nastavnika kada su u pitanju mogući postupci kojima bi se stanje popravilo značajno različiti od onih koji se promovišu u medijima i kroz zakonsku regulativu. U tom smislu, neophodno je upoznavanje javnosti sa konkretnim stanjem u obrazovanju, kao preduslov za javni dijalog, budući da se došlo do zaključka da je značajan broj zamerki prema postojećem stanju posledica uverenja formiranih preko medija, a nije baziran na podrobnom poznavanju situacije na terenu.

Ključne reči: ponašanje dece, stavovi roditelja, upoređivanje generacija, mišljenje javnog mnjenja

Abstract – The premise of the research is reflected in the research team's belief that the decline in the quality of knowledge among primary school graduates is not based on any essential differences between generations of children, nor on a significantly lower quality of teaching, but is rather the result of differing expectations of parents and society, and through them indirectly of the students themselves. The conclusion that emerged is that there is an almost general dissatisfaction with the current state of our education system and the direction in which it is moving, and that the beliefs of parents and teachers regarding possible measures to improve the situation differ significantly from those promoted in the media and through legislation. In this regard, it is necessary to familiarize the public with the concrete state of education as a precondition for public dialogue, given that a significant number of objections to the current situation stem from beliefs formed through the media and are not based on a thorough understanding of the situation in practice.

Keywords: children's behavior, parents' attitudes, generational comparison, public opinion

1. UVOD

Predloženi rad je rezultat istraživanja koja su sprovedena po niškim školama u periodu od 2022. godine do danas i koja još uvek traju. Istraživanja su za cilj imala da ispitaju na koji način uverenja i navike roditelja utiču na ponašanje učenika i, indirektno, na nastavni proces i na opšte iskustvo učenika tokom obaveznog školovanja.

U istraživanju su korišćene metode ankete, intervjui sa roditeljima, učenicima i nastavnicima i posmatranja, a dobijeni rezultati su analizirani u svetlu postojećih teoretskih i naučno-popularnih razmatranja. Istraživanje je posebno bilo usmereno na ispitivanje uverenja roditelja o razlikama u funkcionisanju škola kada su oni bili učenici i u sadašnjem vremenu, kada su roditelji današnjih generacija učenika. Veliku zahvalnost dugujemo dr Mariji Novaković, pomoćnici direktora Osnovne škole Čegar u Nišu, koja je takođe i rukovodilac Tima za zaštitu učenika od diskriminacije, nasilja, zlostavljanja i zanemarivanja.

2. PREMISE

Nekada se od učenika očekivalo da redovno uče napamet obimne epske pesme. Danas je učenicima ostavljeno na izbor hoće li te pesme pročitati, ukoliko to ne smatraju preteškim zadatkom. Nećemo sad ulaziti u to da li je potrebno da deca uče epske pesme napamet. Ono što je frapantno je da smo mi za nepunih četrdeset godina prešli put od školstva u kojem je normalno da deca u osnovnoj školi dobijaju tako ozbiljne zadatke, do školstva u kojem nastavnici nisu sigurni da li detetu od petnaest godina smeju da zadaju da pročita pesmu, pa to daju kao opcioni zadatak.

Za ovo istraživanje, takođe, koristili smo i nenaučni metod čitanja prepiske u roditeljskim viber grupama. Pošto koautor ovog teksta ima dva deteta u različitim razredima osnovne škole, bilo je prilike da se prate reakcije roditelja kroz različite uzraste. Smatramo da su ove reakcije iskrenije, jer roditelji pri razgovoru sa istraživačima često prilagođavaju svoje odgovore onome za šta misle da je socijalno prihvatljivo, tako da intervjue treba uzimati sa rezervom. Ali u viber grupama, gde se svi roditelji često međusobno poznaju, reakcije su mnogo autentičnije. Naravno, nećemo zloupotrebljavati dobijena mišljenja, jer za to nismo dobili dozvolu, ali se stiče utisak da roditelji previše znaju o obavezama svoje dece i previše su uključeni u njih. Zato dobar broj roditelja smatra da deca dobijaju previše obaveza i da im ponekad za domaći trebaju i cela dva sata. Naravno, kada to uporedimo sa obavezama koje smo sami imali tokom školovanja, shvatamo da dva sata nisu ništa više od onoga što smo mi imali, a prilično je sigurno i da je znatno manje. Ono što je tada bilo drugačije je činjenica da naši roditelji nisu imali uvid u naše obaveze. Nije bilo viber grupa, učiteljice nisu svakog dana slale izveštaje o radu, te roditelji školovanje svoje dece nisu doživljavali kao sopstvenu obavezu. Roditeljski sastanak je bio jedini momenat kada su roditelji mogli da saznaju da li im je dete svoje ocene predstavljalo iskreno. Naravno, bilo je vanrednih poseta školi

Ivan Stamenković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Pirot , Ćirila i Matodija 29, 18300 Pirot (imejl: ivan.stamenkovic@akademijanis.edu.rs).

Marija Novaković, Osnovna škola „Čegar", Školska bb, 18000 Niš (imejl: m.novakovic@oscegar.edu.rs).

i razgovora sa nastavnicima, ali se to dešavalo gotovo isključivo kad nastane neki ozbiljan problem koji ne može da čeka do sledećeg roditeljskog sastanka. Nastavnici nisu tražili odobravanje roditelja za metode kojima obavljaju svoj posao, niti su se roditelji smatrali kompetentnima da se mešaju u posao nastavnika.

3. RODITELJI SA POSEBNIM POTREBAMA

Danas imamo inflaciju bavljenja decom i inflaciju stručnosti. Roditelji danas na internetu dobijaju stotine saveta, čitaju desetine članaka o tome kako treba odgajati decu i osećaju se kompetentnima da za sve budu pitani i uvaženi. Na stranu to što vrlo često roditelji čak i ne čitaju članke već se pozivaju na konsenzus društvenih mreža o tome šta neki tekst poručuje i šta to znači za roditeljstvo. Nikada u istoriji čovečanstva nisu laici baratali većom količinom polučinjenica i popularnih besmislica i nikada više laika nije očekivalo da njihovo mišljenje o svemu bude saslušano, sa punom spremnošću da se uvrede ako om se skrene pažnja da ne znaju dovoljno. Živimo u društvu u kojem se oseća potpuna snaga Daning-Krugerovog efekta, gde ljudi ograničenih kompetencija značajno precenjuju svoje stvarne sposobnosti i kvalitete.

Verujemo da je do sada rečeno delimično razjasnilo paradoksalan naslov rada i da je ukazano na njegovu donekle sarkastičnu suštinu. Deca se, naravno, rađaju i dalje ista kao što su bila, sa podjednakim potencijalom za uspeh ili neuspeh kao i decenijama ili vekovima unazad. Štaviše, verujemo da su današnja deca fiziološki i sociološki u boljoj startnoj poziciji, jer je zanemarljiv broj dece koja su neuhranjena, bez minimalnih sredstava za život i sa velikim brojem obaveza izvan škole. Naprotiv, mnogo je veći broj gojazne dece, koja u proseku imaju mnogo više garderobe, igračaka i svega što požele, a na decu koja pomažu u kućnim poslovima se gleda kao na malo čudo. Što se fizološkog aspekta tiče, tu nema sumnje da je sada stanje bolje – niko neće tvrditi da nije dobro što deca imaju mogućnost da im hrana bude dostupnija. Što se, pak, socioloških aspekata tiče, tu već imamo mnogo podeljenija mišljenja. Verujemo da nema roditelja koji žele da im deca budu gojazna, nemotivisana i razmažena. Ako deca sve to jesu, razlog se mora tražiti u postupcima roditelja. Psiholozi su davno utvrdili da su deca robovi prijatnosti. Ako detetu dozvolite da radi samo ono što želi, radiće isključivo stvari koje mu prijaju, bez mogućnosti da uvidi dugoročne negativne posledice svog ponašanja. Ako se deci prepusti da sama odlučuju šta će jesti i kako će provoditi vreme, ne treba da budemo iznenađeni ako ona jedu slatkiše i grickalice i ako vreme provode ispred ekrana mobilnih telefona i tableta. Na kraju krajeva, autori sadržaja na internetu aktivno rade na tome da njihovi proizvodi budu adiktivni, jer njihova zarada je direktno proporcionalna broju korisnika koje navuku. Ono što jako začinjena hrana radi stomaku, to internet sadržaji prezasićeni brzim promenama svetlosnih i zvučnih efekata rade mozgu. Ne možemo očekivati od dece da sama prepoznaju štetnost onoga što bi želela da čine kad god im dopustimo.

To je trenutak gde roditelji treba da preuzmu svoju ulogu, a što se u ogromnom broju slučajeva danas ne događa. A ne događa se, jer se mnogi roditelji i danas ponašaju poput dece. Zato govorimo o roditeljima sa posebnim potrebama.

4. PERCIPIRANI UZROCI

Današnji trenutak je specifičan, jer po prvi put u istoriji čovečanstva obični ljudi imaju mogućnost da zavire u živote miliona drugih, da upoređuju sebe sa njima, i da na uspeh gledaju kao na nešto sveprisutno i lako dostupno. Ono o čemu većina ne razmišlja je da su slike na društvenim mrežama, ako ne potpuno lažne, a ono prilično našminkane. Statistički gledano, prosečni roditelji današnje dece rođeni su krajem osamdesetih i tokom devedesetih, imaju između dvadeset pet i četrdeset godina i upravo su one generacije koje su oblikovane tokom srozavanja školskog sistema, a koje su u od prvih godinama odraslog života (često i znatno ranije) bile izložene fenomenu društvenih mreža i poplave poluinformacija. Oni više ne pamte vreme u kojem se na obrazovni sistem gledalo sa poštovanjem i kada je za javno iznošenje svog mišljenja bilo potrebno najpre steći znanje, zvanje i ugled. Kao što smo već pomenuli, to je rezultovalo nikada manjim kompetencijama, a nikada većim očekivanjima da svako mišljenje bude uvaženo. Na to se nadovezuje relativno slab materijalni položaj, nepoverenje u institucije i, generalno, pesimističan doživljaj sadašnjosti i budućnosti. Prosečan roditelj, dakle, ne ceni obrazovanje, jer nije stekao dobro mišljenje o njemu tokom svog školovanja, najčešće nije ostvario željeni status u društvu, oseća se prevareno i iskorišćeno i kao jedini mehanizam dolaska do pristojnog života prepoznaje snalaženje – sticanje željenih dobara putem poznanstava, podmićivanja ili protivusluga. Takav roditelj nema velike ambicije za svoje dete i smatra da je za život mnogo bitnije da što pre nauči da se snalazi, a ne da stekne obrazovanje. Ukoliko ima očekivanja od obrazovnog sistema, ona su najčešće takva da roditelj već ima viziju kako obrazovanje treba da izgleda i pokušava da svoje stavove nametne učiteljima i nastavnicima. Imamo, dakle, krajnosti – roditelje koji su nezainteresovani za obrazovanje svog deteta i one koji su previše zainteresovani i očekuju da imaju ogroman uticaj na obrazovni proces.

5. POSLEDICE

Sve napred rečeno kao posledicu ima manifestaciju roditeljskih uverenja na način vaspitavanja dece. S jedne strane imamo roditelje kojima je roditeljstvo teret i koji sa olakšanjem gledaju na postojanje mobilnih telefona, tableta i kompjutera, ne razmišljajući previše o njihovoj dugoročnoj štetnosti. S druge strane su roditelji koji na svoju decu gledaju kao na lični projekat, koji im posvećuju svu pažnju, planiraju svaki trenutak i, vrlo često, ne dozvoljavaju deci da se ni oko čega brinu, niti da razviju kompetencije za realan život. Kakav god bio roditeljski pristup, jedna pojava je zajednička i rezultuje uznemiravajućim posledicama. Naime, veliki broj dece iskazuje nezainteresovanost za odrastanje i osamostaljivanje. Bilo da vreme provode igrajući video igrice ili na organizovanim aktivnostima i u druženju sa vršnjacima, mnogi ispitanici smatraju da im je život veoma zadovoljavajući, a da je život odraslih naporan, dosadan i da ne bi voleli da odrastu. To je potpuno suprotno od istraživanja rađenih sa ranijim generacijama, kada su deca i mladi jedva čekali da preuzmu prava i beneficije odraslih. Jedan od glavnih

krivaca za takvu promenu nalazi se u činjenici da su mnogi roditelji svojoj deci omogućili detinjstvo u skladu sa dečjim željama i da mnoga deca nemaju neostvarenih želja. Nima zamisao odrastanja ne donosi nikakvo ispunjenje dugočekivanih želja, već samo preuzimanje obaveza koje često doživljavaju kao nešto što je ispod njihovih standarda. Takođe, primetno je da današnja deca imaju mnogo niža očekivanja od života – ne žele atraktivne karijere, ugled ili bogatstvo, već bi radije uzabrali posao koji bi od njih zahtevao što manje truda, nezavisno od toga u čemu se sastoji, jer njihov pravi život se odvija onlajn, na društvenim mrežama i u video igrama.

6. ZAKLJUČAK

Kada svemu rečenom dodamo i činjenicu da danas deca mnogo manje vremena provode napolju, da mnogo kasnije počinju da se kreću bez roditeljskog nadzora, da imaju mnogo manje interakcije sa vršnjacima, čini se da današnje generacije odrastaju u nikada manje sposobne buduće odrasle članove zajednice. Naravno, mladi koji odraslost vide kao nešto dosadno ili preteško sa užasavanjem gledaju na ideju o sopstvenoj deci. Država pokušava da očigledne probleme rešava uvođenjem dodatnih sadržaja za decu i dodatne administracije za nastavnike, Postoji na desetine timova koji se gotovo svakodnevno sastaju da bi raspravljali o rešavanju problema u odnosima između dece, roditelja i nastavnika, pritom nemajući mnogo konkretnih mehanizama kojima mogu da zaustave neželjene situacije. Sva je prilika da će dodatnih administrativnih obaveza biti sve više, a rezultata sve manje, dok ne uvidimo da jedini način na koji možemo da utičemo na decu jeste da najpre utičemo na roditelje. Na koji način bi to moglo da se ostvari još se ne nazire, ali bi inicijativa svakako morala da dođe od struke.

LITERATURA

[1] R. Rajović, IQ deteta – briga roditelja, Beograd: NTC 2017.

[2] Warano, H. E. (2008). A Nation of Wimps. Brodway Books.

[3] Nil, A. S. (1960). Summerhill. Hart Publishing Company.

[4] Mogel, W. (2001). The Blessing of a Skinned Knee. Penguin Books.

[5] Papan, J. (2018). Politika za decu. Službeni glasnik.

[6] Tvenge, J. M. (2017). iGen. Atriabooks

[7] Švarc, B. (2009). The Paradox of Choice. HarperCollins.

[8] Freire, P. (2021). Education for Critical Consciousness. Bloomsbury Academic.

[9] Martin, K. (2021). Evolving Education. Impress.

[10] Tvenge, J. (2009). Narcissism Epidemic. Free Pres

ANALIZA PODATAKA U EDUKACIJI STUDENATA PRIMENOM SOFTVERA „STATISTICA“

DATA ANALYSIS IN STUDENTS' EDUCATION USING SOFTWARE „STATISTICA“

Milica Cvetković i Dunja Stojanović

Sadržaj – Ovaj rad ima za cilj da, sa tehničko-tehnološkog aspekta, predstavi koristan alat za obradu podataka, analizu, predikciju, kao i mere unapređenja sistema za upravljanje otpadom i zaštitu životne sredine studentima iz ovih oblasti koji ga mogu koristiti u svim stručnim i stručno-aplikativnim predmetima. U ovom radu biće prikazan značaj softvera STATISTICA kroz praktične primere studenata, mentorski vođene predmetnim nastavnikom i asistentom, a iskorišćene u temama završnih master radova kao deo primenjenog istraživačkog rada.

Ključne reči: Obrada podataka, analiza, softver STATISTICA, edukacija studenata.

Abstract – This work aims to, from a technical-technological aspect, present a useful tool for data processing, analysis, prediction, as well as measures to improve the system for waste management and environmental protection to students that can used it in all professional and professionally-applied subjects. The importance of the STATISTICA software will be shown in this paper due to practical examples of students, that are mentored by the subject teacher and assistant, and were used in the topics of the final master's theses as part of the applied research work.

Keywords: Data processing, analysis, STATISTICA software, student education.

1. UVOD

Razvoj računarske tehnike u drugoj polovini 20. veka uslovio je nagli skok u primeni statistčkih metoda u svim granama nauke, kao i u analizama svih masovnih pojava. Kvantitativni pristup problemima, odabir odgovarajuće statističke metode, statistička obrada podataka, statistička analiza i zaključci, kao i ispitivanje javnog mnjenja, od velikog su značaja i integralni deo čitavog modernog društvenog razvoja, pa i u oblasti zaštite životne sredine.

Pored ekstenzije podataka sa globalnim razvojem društva, akcenat treba staviti i na njihov kvalitet. Tehničke mogućnosti stvaraju uslove za eksponencijalni porast potražnje za detaljnijim podacima a statističke informacije treba u većoj meri da omoguće detaljniju analizu nastalih promena. Iz tog razloga postoji kontinuirano inoviranje postojećih statističkih programa i programiranje novih, specifikovanih prema oblasti istraživanja.

Ovaj rad ima za cilj da, sa tehničko-tehnološkog aspekta, predstavi koristan alat, za obradu podataka, analizu, predikciju, kao i mere unapređenja sistema za upravljanje otpadom i zaštitu životne sredine, studentima iz ovih oblasti koji ga mogu koristiti u svim stručnim i stručno-aplikativnim predmetima.

U radu [1], pored osnovnih teorijskih prikaza metoda obrada podataka, data je i praktična primena vežbi, računskih i u softveru STATISTICA na konkretnim primerima iz oblasti zaštite životne sredine i upravljanju otpadom. Takođe je predstavljen koristan alat za obradu i analizu podataka koji mogu koristiti i studenti drugih naučnih oblasti.

Milica Cvetković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milica.cvetkovic@akademijanis.edu.rs).

Dunja Stojanović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: dunja.stojanovic@akademijanis.edu.rs).

2. OBRADA I ANALIZA PODATAKA

Obrada i analiza podataka obuhvata dve od tri oblasti statistike: deskriptivnu statistiku i statističku analizu, odnosno, deo statistike koji se bavi prikupljanjem, obradom i povezivanjem podataka, kao i pribavljanjem numeričkih informacija, kvalitativnu interpretaciju, donošenje zaključaka i formiranje zakonitosti ponašanja posmatranih pojava.

Kako integralni deo čitavog modernog društvenog razvoja čine kvantitativni pristup problemima, odabir odgovarajuće statističke metode, statistička obrada podataka, statistička analiza i zaključci, ispitivanje javnog mnjenja, to je značaj obrade i analize podataka u svim sferama života jako veliki.

Osnovni koraci statističkog istraživanja su statističko posmatranje, sređivanje podataka i statistička analiza i tumačenje rezultata, a najvažnije u analizi podataka je da zaključke treba pregledno i sadržajno obrazložiti.

Pored ekstenzije podataka sa globalnim razvojem društva, akcenat treba staviti i na njihov kvalitet. Zbog toga je bilo potrebno usmeriti se ka razvoju tehničkih mogućnosti, što bi značilo kontinuirano inoviranje postojećih statističkih programa i programiranje novih, specifikovanih prema oblasti istraživanja. Jedan od takvih softvera za statističku obradu podataka je i softver STATISTICA.

Softver STATISTICA predstavlja celovit programski paket za statističko-grafičku obradu podataka sa velikim izborom osnovnih i naprednih statističko-matematičko-grafičkih analiza. Uprkos gotovo isključivo profesionalnoj nameni, STATISTICA ima vrlo lagano korisničko okruženje i velike mogućnosti manipulacije s podacima. Uneti podaci mogu se pretraživati, transformisati, ažurirati, itd. Pored toga veliki broj standardnih formata direktno je podržan preko interne konverzije. Tako je moguće koristiti podatke iz Excela, Lotusa Quatro-Proa, DBase, Paradox i drugih formata koje podržavaju ti programski paketi. Veličina datoteka s podacima

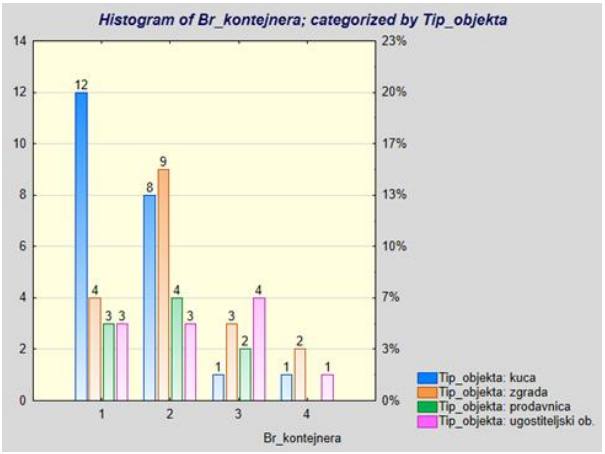
za obradu gotovo je neograničena (može imati 32000 varijabli).

3. SOFTVER *STATISTICA* U RADU SA STUDENTIMA

Sa tehničko-tehnološkog aspekta, predstavlja koristan alat, za obradu podataka, analizu, predikciju, kao i mere unapređenja sistema za upravljanje otpadom i zaštitu životne sredine, studentima iz ovih oblasti, koji ga mogu koristiti u svim stručnim i stručno-aplikativnim predmetima.

U radu sa studentima, pored osnovnih teorijskih prikaza, moguće je primenjivati i praktičnu primenu vežbi u softveru STATISTICA na konkretnim primerima iz oblasti zaštite životne sredine i upravljanju otpadom, uz veliki spektar grafičkog prikaza, detaljniju analizu i izvođenje zaključaka.

Moguće je uraditi i grafički prikazati uporednu analizu jedne varijable za sve pojedinačne kategorije neke druge varijable, (*Sl. 1.*).



Slika 1. *Uporedna analiza varijable za više kategorija neke druge varijable*

Takođe je moguće ispitivanje kumulanti varijable za specifikovane kategorije nekih drugih varijabli, bilo rastuće kumulante u ispitivanju „koliko najviše“ ili opadajuće kumulante u ispitivanju „koliko najmanje“, (*Tabela I).*

Tabela I *Ispitivanje kumulanti varijable za specifikovane kategorije nekih drugih varijabli*

Frequency table: *Kolicina_otpada* (Podaci, upravljanje otpadom)
Include condition: Tip_objekta="kuca" and Br_kontejnera=1 and Br_korisnika>

Category	Count	Cumulative Count	Percent	Cumulative Percent	100% - Percent
19	1	1	10.00000	10.0000	100.0000
22	1	2	10.00000	20.0000	90.0000
23	1	3	10.00000	30.0000	80.0000
25	1	4	10.00000	40.0000	70.0000
27	1	5	10.00000	50.0000	60.0000
31	2	7	20.00000	70.0000	50.0000
32	1	8	10.00000	80.0000	30.0000
34	1	9	10.00000	90.0000	20.0000
49	1	10	10.00000	100.0000	10.0000
Missing	0	10	0.00000	100.0000	0.0000

Kroz dodatno učenje tehnika formiranja anketa za određenu temu istraživanja, studenti vrše ispitivanja javnog mnjenja, obrađuju i grafički vizualizuju u softveru STATISTICA, što im omogućava da steknu uvid u problematiku i predlažu metode za unapređenje sistema zaštite životne sredine u globalu.

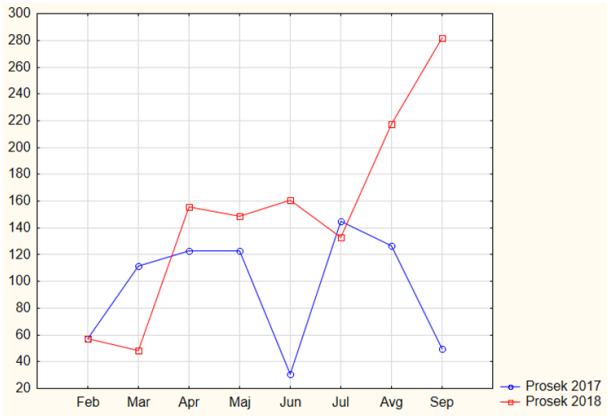
U ovom radu biće prikazan značaj softvera STATISTICA kroz praktične primere studenata, mentorski vođene predmetnim nastavnikom i asistentom, a iskorišćene u temama završnih master radova kao deo primenjenog istraživačkog rada.

Primer 1:

Petar Marković je od 2015. zaposlen u firmi „Rakita Exploration“ koje je nosilac licence za geološka istraživanja na projektu Čukaru Peki, jednom od skoro otkrivenih rudnih ležišta sa visokim potencijalom za otvaranje rudnika. Zaposlen je na poziciji rukovodioca odeljenja za zaštitu životne sredine u sektoru za bezbednost i zdravlje na radu i zaštitu životne sredine u ovoj kompaniji.

U radu [2] prikazan je proračun koncentracija generisane prašine, izvršen uzimajući u obzir sveukupni faktor emisije od radova.

Na osnovu proračunatih vrednosti koncentracije generisane prašine korišćenjem Gausovog modela za četiri različite lokacije na kojima se nalaze recipijenti i vrednosti dobijenih laboratorijskom analizom uzoraka uzetih sa tih lokacija može se zaključiti da u posmatranom periodu u kome su se izvodili radovi kao i godini koja je prethodila radovima analizom uzoraka sa lokacija evidentan je porast vrednosti ukupnih taložnih materija, (*Sl. 2.*).

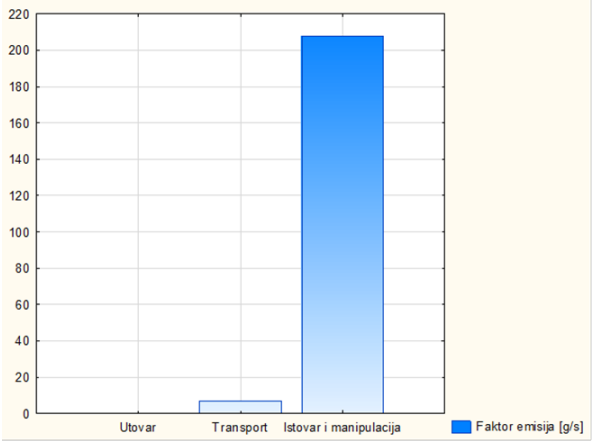


Slika 2. *Uporedni prikaz faktora emisija za različite operacije koje generišu prašinu*

Ovakvo povećanje merenih vrednosti je posledica povećanih aktivnosti i izvođenja radova na pripremi rudarskih objekata ali samom analizom podataka dobijenih modelom odnosno predviđenim koncentracijama ne može se potvrditi da je porast vrednosti ukupnih taložnih materija isključivo posledica rudarskih aktivnosti.

Na primeru rudarskih radova u cilju daljeg istraživanja ležišta Čukaru Peki možemo zaključiti da analizom podataka dobijenih proračunom utvrđeno je da je najveći generator emisija upravo istovar i odlaganje materijala (*Sl.3.*). To bi značilo da se može odmah započeti sa primenom mera za smanjenje uticaja na tim aktivnostima dok bi se na osnovu

analize rezultata iz monitoringa postepeno uvodile dodatne mere prema potrebi.



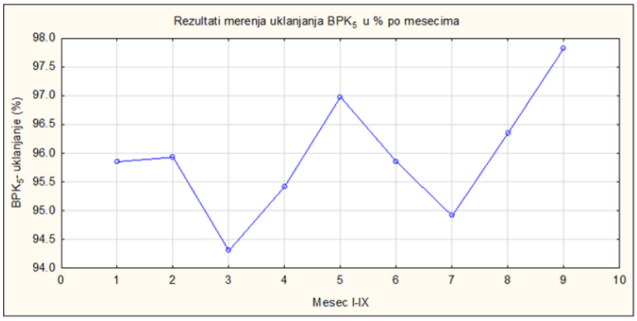
Slika 3. *Uporedni prikaz faktora emisija za različite operacije koje generišu prašinu*

Primer 2:

Sara Milosavljević zaposlena je u Postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda u Kruševcu (PPOV Kš), kao inženjer zaštite životne sredine.

U radu [3] predstavljeno je kako funkcioniše sistem monitoringa na PPOV u Kruševcu (PPOV-KŠ), sa naglaskom na pokazatelje kvaliteta kao što su pH vrednost, biološka i hemijska potrošnja kiseonika (BPK i HPK), kao i prisustvo suspendovanih materija.

Rezultati merenja uklanjanja BPK_5 (biološke potrošnje kiseonika =označava količinu rastvorenog kiseonika koju mikroorganizmi potroše za razgradnju organske materije u vodi u toku 5 dana na 20°C) u periodu januar–septembar 2021. godine pokazuju konstantno visoku efikasnost procesa biološkog prečišćavanja na PPOV Kruševac, (*Sl. 4.*).

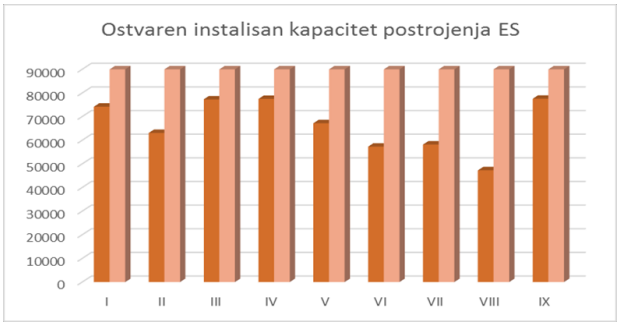


Slika 4. *Grafički prikaz rezultata merenja uklanjanja BPK u % na PPOV KŠ 2021. god po mesecima I-IX*

Vrednosti se kreću od 94,30% (mart) do maksimalnih 97,83% (septembar), pri čemu je tokom svih posmatranih meseci ostvarena efikasnost viša od 94%.

Ovakvi rezultati ukazuju na stabilan rad biološkog dela postrojenja i adekvatne uslove za mikrobiološku razgradnju organskih materija. Blage oscilacije u procentima uklanjanja mogu se povezati sa promenama u hidrauličkom opterećenju i varijacijama ulazne koncentracije BPK_5, ali nisu značajno uticale na ukupnu efikasnost sistema, koja je u skladu sa zahtevima propisanim domaćim i evropskim standardima za ispuštanje prečišćenih otpadnih voda.

Takođe u radu [3] analiza realizovanog prečišćavanja u periodu januar–septembar 2021. godine pokazuje stabilan rad postrojenja uz ujednačen mesečni protok, bez većih oscilacija koje bi ukazivale na poremećaje u radu ili dotoku. Ostvareni radni kapacitet u odnosu na projektovani kapacitet ukazuje da postrojenje raspolaže dodatnim prostorom za priliv i tretman dodatnih količina otpadnih voda, (*Sl. 5.*), što je posebno značajno za projektovanje budućeg priključenja novih korisnika ili eventualnog povećanja protoka usled urbanizacije i klimatskih promena.



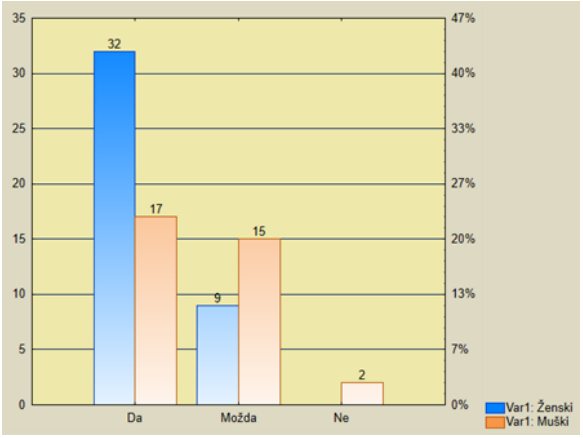
Slika 5. *Grafički prikaz ostavrenog kapaciteta postrojenja prema broju ES (izvor: tehnička dokumentacija sa PPOV KŠ)*

Primer 3:

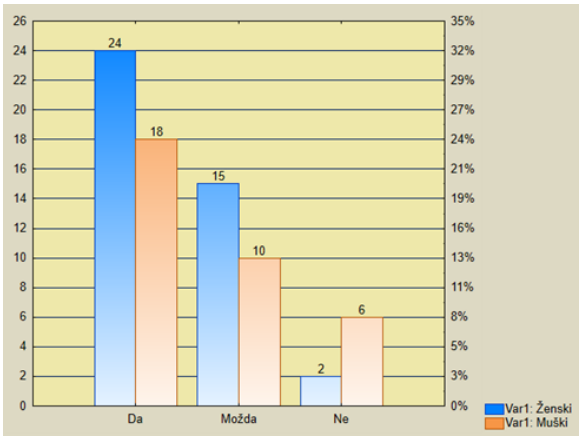
U okviru projekta "Primena koncepta zelenih praksi u razvoju programskih sadržaja" (GREENP-EDU), koji se finansira od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja RS, u okviru programske aktivnosti "Razvoj visokog obrazovanja", sprovedena je online anketa preko Microsoft platforme na temu projekta i ispitano javno mnjenje studenata osnovnih i master strukovnih studija iz oblasti zaštite životne sredine Akademije tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, kao i pojedinih profesora.

Pored osnovnog cilja ankete dobijanja povratne informacije o znanju i mišljenju studenata strukovnih studija o primeni koncepta zelenih praksi, odnosno, o sprovođenja mera u oblasti sprečavanja klimatskih promena i zagađenja, razvoja energije i biodiverziteta, mobilnosti i cirkularne ekonomije i o unapređenju životne sredine u globalu, cilj ankete je bio i korišćenje alata za statističku obradu dobijenih (generisanih) podataka za dalju, svrsishodniju analizu, od strane studenata druge godine osnovnih studija studijskog programa Zaštita životne sredine u okviru predmeta Statistika i analiza.

Jedan od zaključaka je bio da je ženska populacija spremnija po pitanju aktiviranja u pomoći zajednici da se izbori sa ekološkim problemima, ali i zainteresovanija da sprovede mere energetske efikasnosti u domaćinstvu, (*Sl.6-7.*).



Slika 6. *Histogram o spremnosti aktiviranja, po polu*



Slika 7. *Histogram o zainteresovanosti za sprovođenje mera, po polu*

4. ZAKLJUČAK

Statistička obrada i analiza podataka je neophodna u svim sferama istraživanja. Statističke metode dominiraju naučnim istraživanjem jer uključuju planiranje, projektovanje, prikupljanje podataka, obradu, analizu, tumačenje, zaključivanje i izveštavanje o rezultatima istraživanja. Tačnije, rezultati dobijeni istraživanjem su besmisleni sirovi podaci ukoliko se ne analiziraju statističkim alatima.

U ovom radu ukazan je značaj statističke obrade i matematičkog zaključivanja u strukovnom obrazovanju generalno, a kroz primer edukacije i praktične primene studenata iz oblasti inženjerstva zaštite životne sredine i upravljanja otpadom.

Statistička obrada i matematičko zaključivanje, u strukovnom obrazovanju generalno, predstavlja temelj bavljenja strukom bilo koje naučne oblasti.

Kroz primer edukacije i praktične primene sudenata iz oblasti inženjerstva zaštite životne sredine i upravljanja otpadom, dati su ključni aspekti značaja statistike:

- Razumevanje pojava,
- Kredibilitet informacija,
- Kritičko sagledavanje informacija i argumenata kojima smo izloženi,
- Ključna za razumevanje sveta oko nas i za donošenje mudrih odluka u mnogim aspektima života.

LITERATURA

[1] M. Cvetković, Statistika i analiza, Skripta: Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš, 2022.

[2] P. Marković, " Analiza koncentracija i predikcija deponovanja taložnih materija iz vazduha pod uticajem rudarskih radova na rudniku Čukaru Peki u opštini Bor ", završni master rad, Visoka tehnička škola, 2019.

[3] Sara Milosavljević, "Monitoring i analiza kvaliteta otpadnih voda na PPOV-KŠ i predlog mera za konačno zbrinjavanje i iskorišćenje kanalizacionog mulja", master rad, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš, 2025.

DETEKTOVANJE EMOCIONALNIH STANJA TIPA NORMAL I LJUTNJA ANALIZOM GOVORA U 2D I 3D PROSTORU PRIMENOM ANN

DETECTION OF NORMAL AND ANGER EMOTIONAL STATES BY SPEECH ANALYSIS IN 2D AND 3D SPACE USING ANN

Zoran Milivojević i Bojan Prlinčević

Sadržaj – U radu je opisan algoritam za procenu emocionalnog stanja govornika analizom trajektorije fundamentalne frekvencije $f_0(t)$. Na osnovu parametara trajektorije (srednja vrednost F_0, varijansa $s_{F_0}^2$ i trajanje T) izvršeno je pozicioniranje emocionalnog stanja u 2D ravnima $(F_0, s_{F_0}^2)$ i (F_0, T) i 3D ravni $(F_0, s_{F_0}^2, T)$. U prvom delu rada prikazan je algoritam za obučavanje i testiranje klasifikacionih algoritama LDA, QDA, SVM i veštačke neuronske mreže ANN. U drugom delu rada prikazani su rezultati eksperimenta u kome je testirano detektovanje, odnosno procena emotivnih stanja a) neutral i b) ljutnja kod govornih test signala iz Emo-DB Berlin database. Rezultati preciznosti procene prikazani su tabelarno i grafički. Detaljna komparativna analiza rezultata pokazuje da su svi testirani klasifikacioni algoritmi sa preciznošću većom od 0.8. Najbolji rezultati dobijeni su kod primene neuronske mreže u 2D i 3D prostoru. Kod klasifikacije u 3D prostoru postignuta je preciznost 0.9556.

Ključne reči: Fundamentalna frekvencija, Trajektorija, Emocija, Matrica konfuzije.

Abstract – This paper presents an algorithm for estimating a speaker's emotional state based on the analysis of the fundamental frequency trajectory $f_0(t)$. The emotional states were mapped using the trajectory parameters (the mean value F_0, the variance $\sigma_{F_0}^2$, and the duration T) onto the 2D feature spaces $(F_0, s_{F_0}^2)$ and (F_0, T), as well as the 3D feature space $(F_0, s_{F_0}^2, T)$. The first part of the paper describes the training and testing algorithm for the LDA, QDA, SVM, and artificial neural network (ANN) classifiers. The second part presents experimental results on detecting, i.e., estimating, two emotional states: a) neutral and b) anger, using speech test signals from the Emo-DB Berlin database. Classification accuracy ACC results are provided in both tabular and graphical form. A detailed comparative analysis shows that all evaluated classifiers achieved an ACC above 0.8 in the 2D feature space. The best performance was obtained using the ANN in both 2D and 3D feature spaces, with the 3D classification achieving an accuracy of 0.9556.

Keywords: Fundamental frequency, Trajectory, Emotion, Confusion matrix.

1. UVOD

U vremenu intenzivnog razvoja informaciono-komunikacionih tehnologija javila je se potreba za brzim prepoznavanjem emocionalnog stanja sagovornika (sreća, ljutnja, tuga, iznenađenje, gađenje, strah, normalno (neutralno) stanje). Zadatak prepoznavanja emocionalnog stanja čovek rešava iskustveno na vrlo prost i brz način, dok isti zadatak računarski sistem rešava manje pouzdano. Zbog toga se intenzivno radi na razvoju pouzdanih algoritama za detekciju, odnosno estimaciju emocionalnog stanja, i to analizom glasa, gestova, izraza lica i dr. Do sada su u naučnoj literaturi opisani brojni algoritmi za estimaciju emocionalnog stanja, koji su bazirani na HMM (engl. *Hidden Markov Model*) [1, 2], GMM (engl. *Gaussian Mixture Model*) [3], SVM (engl. *Support Vector Machine*), KNN (engl. *K-nearest Neighbors approach*) [4], NB (engl. *Naive Bayes*) [5] i ANN (engl. *Artificial Neural Network*) [6].

Prosodija (engl. *prosody*) je skup zvučnih (perceptivnih) karakteristika govora (intonacija, naglasak, ritam, tempo i pauze) koje nisu povezane sa značenjem reči već sa načinom na koji se reči izgovaraju. Fundamentalna frekvencija f_0 je glavni fizički pokazatelj intonacije [7] i predstavlja ključni parametar u istraživanjima emocionalne ekspresije, jer varijacije f_0 odražavaju psihofiziološko, odnosno emocionalno stanje govornika. U [8] je pokazano da je f_0 osnovni nosilac afektivne informacije, jer promene u visini tona (pitch) i trajektoriji fundamentalne frekvencije $f_0(t)$ omogućavaju razlikovanje visoke (sreća, strah) i niske (tuga, smirenost) emocionalne pobuđenosti. Emocije poput sreće, besa i straha pokazuju povišenu i nestabilnu konturu $f_0(t)$, dok tuga i neutralno stanje karakterišu niže, stabilnije vrednosti [9]. U radu [10] trajektorije fundamentalne frekvencije analiziraju se primenom neuronskih mreža. U [11] ukazuje se da osnovni parametri $f_0(t)$ (srednja vrednost F_0, opseg $(min(f_0(t)), max(f_0(t)))$ i standardna devijacija $s_{F_0}^2$, u kombinaciji sa trajanjem T, omogućavaju jasnu granicu između emocionalnih kategorija kao što su sreća, tuga i bes [12].

U ovom radu opisan je proces estimacije emocionalnih stanja normal, odnosno neutralnog i ljutnja (engl. *anger*). Estimacija je obavljena analizom trajektorije fundamentalne frekvencije $f_0(t)$ govornih signala. Trajektorija je određena primenom Brze Furijeove transformacije (engl. *Fast Fourier Transform,* FFT). Nakon toga izračunati su parametri trajektorije: a) trajanje govora T, b) srednja vrednost fundamentalne frekvencije $F_0 = \overline{f_0(t)}$ i varijansa σ_{F0}^2, na osnovu kojih je procenjeno emotivno stanje govornika Analiza emocionalnog stanja sprovedena je u: a) ravnima $(F_0, s_{F_0}^2)$ i (F_0, T) i b) trodimenzionalnom prostoru $(F_0, s_{F_0}^2, T)$. Svaka

Zoran Milivojević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: zoran.milivojevic@akademijanis.edu.rs).

Bojan Prlinčević, Akademija strukovnih studija kosovsko metohijska, Leposavić, Srbija (imejl: bojan.prlincevic@akademijakm.edu.rs)

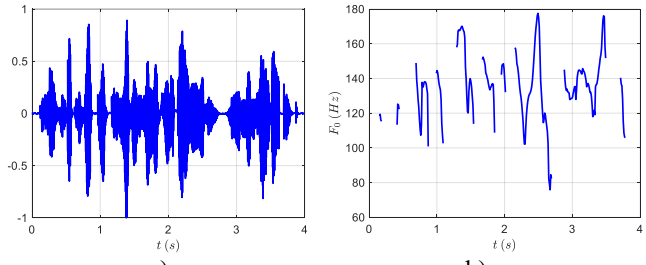
izgovorena test rečenica je, primenom parametara trajektorije, prikazana u formi tačke u ravnima i prostoru. Granica razdvajanja (engl. *decision boundary*) dva emocionalna stanja u ravnima $(F_0, s_{F_0}^2)$ (F_0, T) i određena je primenom algoritama: a) LDA (engl. *Linear Discriminant Analysis*), b) QDA (engl. *Quadratic Discr-minant Analysis*), c) SVM (engl. *Support Vector Machines*) i d) ANN (engl. *Artificial Neural Network*). Estimacija emocionalnog stanja u 3D prostoru $(F_0, s_{F_0}^2, T)$ realizovana je primenom ANN algoritma. Kao test govorni signali korišćeni su govorni signali iz Emo-DB Berlin Emotional Speech Database [13]. Korišćeno je ukupno 139 govornih signala, koji su podeljeni u dve grupe (treniranje (70%) i testiranje (30%)). Rezultati treniranja i testiranja algoritama prikazani su u formi matrice konfuzije. Komparativna analiza sprovedena je na osnovu preciznosti (engl. *Accuracy*, ACC) algoritma procene.

Dalja organizacija rada je sledeća. U Sekciji 2 opisani su algoritmi za estimaciju emocionalnih stanja. U Sekciji 3 opisan je eksperiment, prikazani rezultati i komparativna analiza. Sekcija 4 je zaključak.

2. FUNDAMENTALNA FREKVENCIJA GOVORA

2.1 Karakteristike trajektorije f_0

Vremenski oblik govornog signala signala $x(t)$ recenice izgovorene na nemačkom jeziku '*Das schwarze Stück Papier befindet sich da oben neben dem Holzstück*' ('*crni komad papira se nalazi tamo gore pored komada drveta*') sa simulacijom emocionalnog stanja 'ljutnja' prikazan je na sl. 1.a. Promenom Furijeove transformacije odredjena je trajektorija fundamentalne frekvencije govornog signala $f_0(t)$ sl. 1.b. U daljem delu rada, na osnovu trajektorije fundamentalne frekvencije izračunavaju se parametri: a) trajanje govora T, b) srednja vrednost fundamentalne frekvencije $F_0 = \overline{f_0(t)}$ i varijansa σ_{F0}^2, i na osnovu njih estimira emocionalno stanje govornika. Analiza i estimacija će biti sprovedene u ravnima (F_0, σ^2), (F_0, T) i u trodimenzionom prostoru (F_0, σ^2, T).



a) b)

Slika 1. *Govorni signal rečenice 'Das schwarze Stück Papier befindet sich da oben neben dem Holzstück': a) vremenski oblik i b) trajektorija fundamentalne frekvencij $f_0(t)$.*

2.2 Algoritam klasifikacije emocionalnog stanja

Estimacija emocionalnog stanja obavljena je algoritmom kroz dve faze: a) treniranje i b) testiranje algoritma.

Algoritam treniranja realizovan je u sledecim koracima:

Input: x – govorni signal, K – ukupan broj test signala.

Output: Trenirani algoritmi LDA, QDA, SVM i ANN. CM - Matrica konfuzije.

FOR $i = 1 : K$
Step 1: Odredjivanje trajektorije $f_{0,k}(t)$.
Step 2: Izračunavanje trajanja T_k, srednje vrednosti $F_{0,k} = \overline{f_{0,k}(t)}$ i varijanse $s_{F_{0,k}}^2$.
Step 3: Pozicioniranje emocionalnog stanja u ravnima $(F_{0,k}, s_{F_{0,k}}^2)$ i $(F_{0,k}, T_k)$, i u 3D prostoru $(F_0, s_{F_0}^2, T)$.

END *i*
Step 4: Treniranje algoritama za klasifikaciju emocija: LDA, QDA, SVM i ANN.
Step 5: Generisanje matrice konfuzije.

Algoritam testiranja realizuje se u sledecim koracima:

Input: x – speech signal, K – ukupan broj signala za testiranje, Trenirani algoritmi LDA, QDA, SVM i ANN.

Output: Matrica konfuzije.

FOR $k = 1 : K$
Step 1: Odredjivanje trajektorije $f_{0,k}(t)$.
Step 2: Odredjivanje karakteristika trajanja T_k, srednje vrednosti $F_{0,k} = \overline{f_{0,k}(t)}$ i varijanse $s_{F_{0,k}}^2$.
Step 3: Pozicioniranje emocionalnog stanja u ravnima $(F_{0,k}, s_{F_{0,k}}^2)$ i $(F_{0,k}, T_k)$, i u 3D prostoru $(F_0, s_{F_0}^2, T)$.
END i
Step 4: Klasifikovanje emocionalnog stanja pomoću linije razdvajanja algoritama: LDA, QDA, SVM i ANN.
Step 5: Generisanje matrice konfuzije.

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I ANALIZA

3.1 Eksperiment

U cilju testiranja efikasnosti algoritama klasifikacije (sekcija 2.2) emocionalnog stanja procesiranjem govornog signala, realizovan je je eksperiment. Procesirani su govorni signali koji se odnose na emocionalna stanje: a) normalno (neutralno) i b) ljutnja (bes). Formirana je baza govornih signala. Govorni signali su kreirani snimanjem govornika koji su izgovorili test rečenice sa testiranim emocionalnim stanjem. Signali su po slučajnom zakonu podeljeni u dve grupe, i to za: a) treniranje (70%) i b) testiranje (30%) algoritma. Korišćeni su klasifikacioni algoritmi LDA, QDA, SVM i ANN. Kao rezultat treniranja i testiranja algoritma generisane su matrice konfuzije (engl. *Confusion Matrix*, CM) pomoću kojih je statističkim postupkom izračunata preciznost procene emocionalnog stanja. U procesu odlučivanja (*Emocija 1*, *Emocija 2*) mogu da se donesu sledeće odluke: a) tačna procena *Emocije 1* (*True Positive*, TP), b) pogrešna procena kao *Emocija 1* (*False Positive*, FP), c) tačna procena *Emocije 2* (*True Negative*, TN) i d) *Emocija 1* procenjena kao *Emocija 2* (*False Negative*, FN). Kao mera procene preciznosti algoritma korišćena je preciznost procene ACC, koja je određena iz matrice konfuzije: ACC = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN). Rezultati (pozicije emocionalnih stanja u ravnima $(F_{0,k}, s_{F_{0,k}}^2)$ i $(F_{0,k}, T_k)$, i u 3D prostoru $(F_0, s_{F_0}^2, T)$, granice odlucivanja, preciznosti ACC) prikazani su pomoću grafika i tabela. Komparativna analiza sprovedena je na bazi ACC.

3.2 Baza test signala

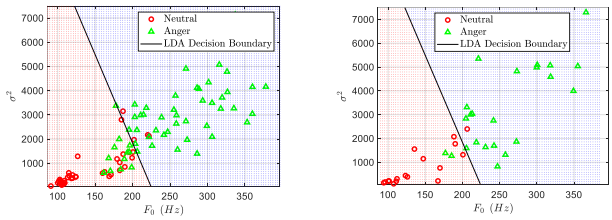
Baza test signala kreirana je od rečenica izgovorenih sa emocijama normal i ljutnja iz Emo-DB Berlin database of emotional speech [13]. Baza je kreirana na Technical University Berlin, department of Technical Acoustics, u okviru projekta SE462/3-1. Snimljeni su glumci (5 muškaraca, 5 žena) koji su pod emocijama: bes / ljutnja (engl. *anger*), dosada (engl. *boredom*), strah / anksioznost (engl. *fear / anxiety*), sreća / radost (engl. *happiness*), tuga (engl. *sadness*), gađenje (engl. *disgust*) i neutralno (bez emocije), izgovorili deset unapred definisanih rečenica. Snimanje je realizovano sa f_s = 16kHz, 16 bps i arhivirano u formi *wav* fajlova.

3.3 Rezultati

Parametar preciznosti ACC, koji je izračunat iz matrice konfuzije za sve testirane algoritme, za faze treniranja i testiranja, prikazan je u Tabeli I. Granice odlučivanja o tipu emocije u ravni (F_0, σ^2) prikazane su na: a) sl. 2 (LDA), b) sl. 3 (QDA), c) sl. 4 (SVM) i d) sl. 5 (ANN). Granice odlučivanja o tipu emocije u ravni (F_0, T) prikazane su na: a) sl. 6 (LDA), b) sl. 7 (QDA), c) sl. 8 (SVM) i d) sl. 9 (ANN). Lokacije emocija u (F_0, σ^2, T) prostoru prikazane su na: a) sl. 10.a (treniranje) i b) sl. 10.b (testiranje).

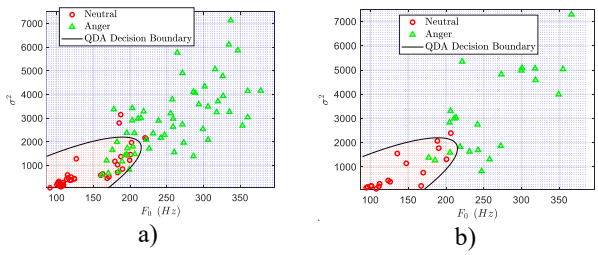
Tabela I *ACC parametar konfuzione matrice za ravni (F_0, σ^2), (F_0, T) i 3D prostor (F_0, σ^2, T).*

		ACC			
		LDA	QDA	SVM	ANN
(F_0, σ^2)	Trening	0.8351	0.8351	0.8247	0.8454
	Testiranje	0.9286	0.9048	0.8810	0.9048
(F_0, T)	Trening	0.8247	0.8144	0.8557	0.9175
	Testiranje	0.9524	0.9286	0.9286	0.8571
(F_0, σ^2, T)	Trening	-	-	-	0.9588
	Testiranje	-	-	-	0.9524
Sredn. vr.	μ	0.8852	0.8707	0.8725	0.9060
Varijansa	σ^2	0.0042	0.0030	0.0019	0.0022



a) b)

Slika 2. *Ravan (F_0, σ^2) LDA algoritam: a) treniranje b) testiranje.*

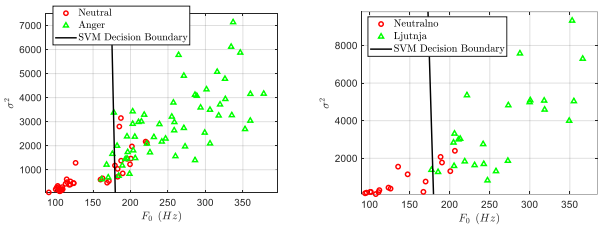


a) b)

Slika 3. *Ravan (F_0, σ^2) QDA algoritam: a) treniranje b) testiranje.*

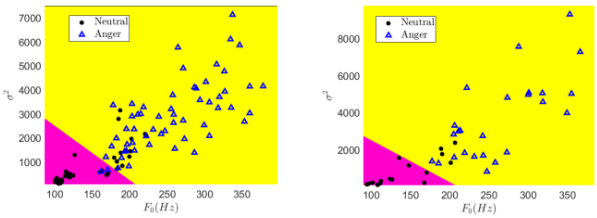
3.4 Analiza rezultata

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli I i grafičkih prikaza na sl. 2 - 10 zaključuje se da je srednja vrednost preciznosti procene emocionalnih stanja kod primene ANN veća u odnosu na primenu: a) LDA $\mu_{ANN}/\mu_{LDA} = 0.9060/0.8852 = 1.0235$, b) QDA $\mu_{ANN}/\mu_{QDA} = 0.9060/0.8707 = 1.0405$ i c) SVM $\mu_{ANN}/\mu_{SVM} = 0.9060/0.8725 = 1.0384$ puta. Rasipanje rezultata kod ANN je manje u odnosu na primenu: a) LDA $\sigma^2_{LDA}/\sigma^2_{ANN} = 0.0042/0.0022 = 1.9091$, b) QDA $\sigma^2_{QDA}/\sigma^2_{ANN} = 0.0030/0.0022 = 1.3636$ i c) SVM $\sigma^2_{SVM}/\sigma^2_{ANN} = 0.0019/0.0022 = 0.8636$ puta.



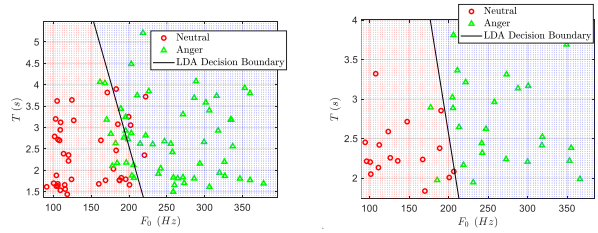
a) b)

Slika 4. *Ravan (F_0, σ^2) SVM algoritam: a) treniranje b) testiranje.*



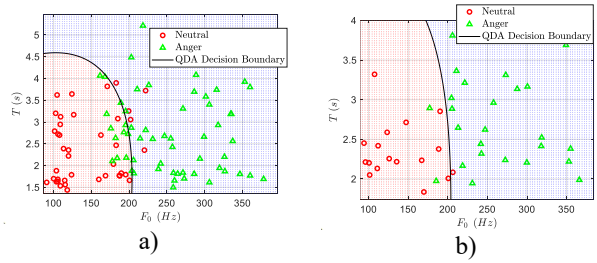
a) b)

Slika 5. *Ravan (F_0, σ^2) ANN algoritam: a) treniranje b) testiranje.*



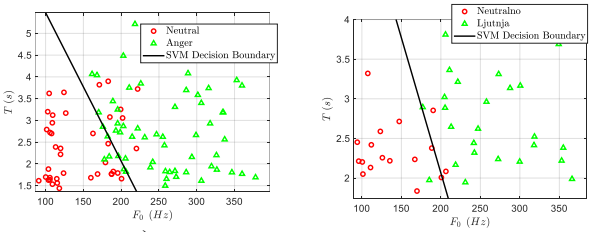
a) b)

Slika 6. *Ravan (F_0, T) LDA algoritam: a) treniranje b) testiranje.*



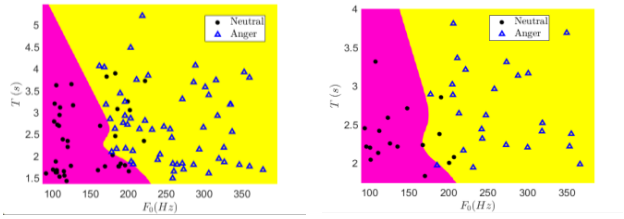
a) b)

Slika 7. *Ravan (F_0, T) QDA algoritam: a) treniranje b) testiranje.*



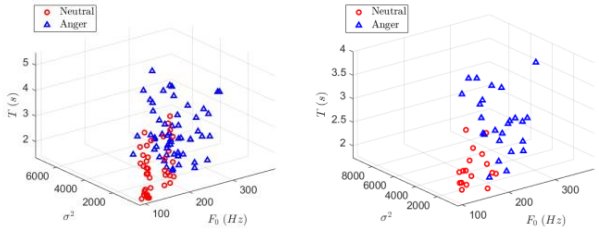
a) b)

Slika 8. *Ravan (F_0, T) SVM algoritam: a) treniranje b) testiranje.*



a) b)

Slika 9. *Ravan (F_0, T) ANN algoritam: a) treniranje b) testiranje.*



a) b)

Slika 10. *Prostor 3D (F_0, σ^2, T) ANN algoritam: a) treniranje b) testiranje.*

Kod primene ANN na 3D prostor dobijena je veća preciznost u odnosu na primenu: a) LDA $\mu_{ANN_3D}/\mu_{LDA} = 0.9556/0.8852 = 1.0795$, b) QDA $\mu_{ANN_3D}/\mu_{QDA} = 0.9556/0.8707 = 1.0975$, c) SVM $\mu_{ANN_3D}/\mu_{SVM} = 0.9556/0.8725 = 1.0952$ i d) ANN $\mu_{ANN_3D}/\mu_{ANN} = 0.9556/0.8812 = 1.0844$ puta. Rasipanje rezultata kod primene ANN na 3D prostor je manje u odnosu na primenu: a) LDA $\sigma^2_{LDA}/\sigma^2_{ANN_3D} = 0.0042/2.0480 \cdot 10^{-5}$=205.0781, b) QDA $\sigma^2_{QDA}/\sigma^2_{ANN_3D} = 0.0030/2.0480 \cdot 10^{-5}$=146.4844 c) SVM $\sigma^2_{SVM}/\sigma^2_{ANN_3D} = 0.0019/2.0480 \cdot 10^{-5}$=92.7734 i d) SVM $\sigma^2_{ANN}/\sigma^2_{ANN_3D} = 0.0012/2.0480 \cdot 10^{-5}$=58.5937 puta.

Sprovedena detaljna analiza koja je prikazana u radu ukazuje da najbolje rezultate kod detekcija emocionalnih stanja normal i ljutnja ima ANN algoritam kod analize u 3D prostoru.

4. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati detekcije emocionalnog stanja govornika analizom karakteristika fundamentalne frekvencije u ravnima $(F_{0,k}, s^2_{F_{0,k}})$ i $(F_{0,k}, T_k)$, i u 3D prostoru $(F_0, s^2_{F_0}, T)$, primenom algoritama klasifikacije LDA, QDA, SVM i veštačke neuronske mreže ANN. Eksperimentalni rezultati ukazuju da svi testirani algoritmi imaju preciznost veću od 0.8 kod procesiranja u 2D ravnima. Primena veštačke neuronske mreže na 3D prostor dobijena je preciznost od 0.9556. Prezentovani rezultati preporučuju primenu ANN kod procene emocionalnog stanja govornika u realnom vremenu.

LITERATURA

[1] B. Schuller, G. Rigoll and M. Lang, "Hidden Markov model-based speech emotion recognition", in Proc. 2003 IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '03), Hong Kong, China, vol. 2, pp. I401-I404, 6-10 Apr. 2003,

[2] S. Menghan, J. Baochen and Y. Jing, "Vocal Emotion Recognition Based on HMM and GMM for Mandarin Speech," Int. J. Educ. & Manage. Eng., vol. 2, no. 3, pp. 25-31, 2012.

[3] H. Tang, S. Chu, M. Hasegawa and T. S. Huang, "Emotion recognition from speech via boosted Gaussian mixture models," in Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia & Expo (ICME), New York, NY, USA, 20 Nov. 2009.

[4] M. Dujaili, A. Ebrahimi and A. Fatlawi, "Speech emotion recognition based on SVM and KNN classifications fusion," Int. J. Electr. & Comput. Eng. (IJECE), vol. 11, no. 2, pp. 1259-1264, Apr. 2021.

[5] A. Khan and U Roy, "Emotion recognition using prosodie and spectral features of speech and Naïve Bayes Classifier," in Proc. IEEE Conf., 2017 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), Chennai, India, March 22-24, 2017.

[6] C. Li, X. Lin, Y. Liu, R. Song, J. Cheng and X. Chen, "EEG-Based Emotion Recognition via Efficient Convolutional Neural Network and Contrastive Learning", IEEE Sensors Journal, vol. 22, no. 20, Oct 2022.

[7] A. Vioni, M. Christidou, N. Ellinas, G. Vamvoukakis, P. Kakoulidis, T. Kim, J. Sung, H. Park, A. Chalamandaris, and P. Tsiakoulis, "Prosodic Clustering for Phoneme-Level Prosody Control in End-to-End Speech Synthesis," in Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Toronto, ON, Canada, pp. 5719-5723, Jun. 6-11 2021.

[8] R. Cowie, E. Douglas-Cowie, N. Tsapatsoulis, G. Votsis, S. Kollias, W. Fellenz, and J. Taylor, "Emotion recognition in human–computer interaction," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 18, no. 1, pp. 32–80, 2001.

[9] C. Busso, S. Lee, and S. Narayanan, "Analysis of emotionally salient aspects of fundamental frequency for emotion detection," IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, vol. 17, no. 4, pp. 582–596, 2009.

[10] K. Liu, D. Wu, D. Wang and J. Feng, "Speech emotion recognition via heterogeneous feature learning," in Proc. IEEE ICASSP 2023, pp. 741–745.

[11] T. Dimitrova-Grekow, A. Klis, and M. Igras-Cybulska, "Speech Emotion Recognition Based on Voice Fundamental Frequency," Archives of Acoustics, vol. 44, no. 2, pp. 277-286, Jun. 2019.

[12] Z. Milivojević, B. Prlinčević, D. Kostić, "Procena emocionalnog stanja govornika statističkom analizom fundamentalne frekvencije," 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA, pp. 185 – 190, 15-17 March 2023.

[13] F. Burkhardt, A. Paeschke, M. Rolfes, W. F. Sendlmeier, and B. Weiss, "A database of German emotional speech," in Proc. Interspeech, Lisbon, Portugal, 2005, pp. 1457–1460.

GOLANG IN MICROSERVICES: A PRAGRAMTIC APPROACH TO SCALABLE AND MAINTAINABLE SYSTEMS

GOLANG U MIKROSERVISIMA: PRAGMATIČNI PRISTUP SKALABILNIM I ODRŽIVIM SISTEMIMA

Milan Tančić

Sadržaj – Mikroservisna arhitektura predstavlja standard u izgradnji skalabilnih i otpornih distribuiranih sistema, pri čemu izbor programskog jezika značajno utiče na performanse i troškove infrastrukture. Go (Golang), razvijen u Google-u, sve češće se koristi u cloud-native okruženjima zahvaljujući efikasnom modelu konkurentnosti, statičkoj tipizaciji i maloj potrošnji resursa. Ipak, sistematska poređenja sa etabliranim tehnologijama poput Java Spring Boot-a i Node.js-a su ograničena. Ovaj rad sprovodi eksperimentalnu analizu implementacijom tri identična mikroservisa u Go-u, Java Spring Boot-u i Node.js-u, sa autentikacionom logikom i pristupom PostgreSQL bazi. Testiranje u Kubernetes okruženju sprovedeno je pod opterećenjem od 100 do 10.000 paralelnih korisnika. Rezultati pokazuju da Go postiže do 85% brže vreme startovanja, do 40% nižu potrošnju memorije, do 25% veću propusnost i manju latenciju. Studija migracije produkcionog servisa za obradu plaćanja potvrđuje ove rezultate. Zaključuje se da je Go pragmatičan izbor za mikroservise visokih performansi i skalabilnosti, uz potrebu za dalje unapređenje alata i ekosistema.

Ključne reči: Golang, mirkoservisi, Java Spring Boot, Node.js, distribuirani sistemi, skalabilni sistemi.

Abstract – Microservice architecture is the prevailing approach for building scalable and resilient distributed systems, where language selection directly affects performance and operational efficiency. Go (Golang), developed by Google, is increasingly adopted for cloud-native systems due to its lightweight concurrency model, static typing, and low resource footprint. However, systematic comparisons with Java Spring Boot and Node.js remain limited. This study conducts an experimental evaluation by implementing three identical microservices in Go, Java Spring Boot, and Node.js, each performing authentication and PostgreSQL access. Tests were executed in a Kubernetes environment under loads of 100–10,000 concurrent users. Results show that Go achieves up to 85% faster startup, up to 40% lower memory usage, approximately 25% higher throughput, and reduced latency. A production migration of a payment-processing service confirmed these improvements. Findings indicate that Go is a pragmatic choice for high-performance and scalable microservices, while noting ecosystem maturity as a trade-off.

Keywords: Golang, microservices, Java Spring Boot, Node.js, distributed systems, scalable systems.

1. INTRODUCTION

In contemporary distributed computing environments, microservice architecture has become the prevalent approach for designing highly scalable, fault-tolerant, and modular software systems. As digital platforms increasingly rely on continuous deployment, high-frequency updates, and elastic scaling capabilities, the limitations of monolithic designs — including rigid coupling, slow deployment cycles, and reduced maintainability — have accelerated the adoption of microservices as a core architectural paradigm. This decomposition of systems into independently deployable services enables granular scalability, technology heterogeneity, and improved fault isolation, aligning closely with modern cloud-native and DevOps practices [1-2].

The emergence of large-scale service platforms, real-time financial systems, online gaming infrastructures, and data-intensive applications has further intensified demands for performant and resource-efficient backend services. In these settings, programming language selection plays a pivotal role in determining operational outcomes.

Factors such as latency, throughput, memory usage, startup characteristics, and CPU efficiency directly influence not only system responsiveness but also cost-effectiveness when deployed in container-orchestrated environments such as Kubernetes. Consequently, evaluating language suitability in microservice ecosystems is not merely an engineering preference but a strategic architectural decision [1-4].

Golang (Go), developed at Google, represents a modern systems-level programming language designed to address challenges associated with large-scale distributed systems. Its concurrency model based on goroutines and channels, combined with static typing, ahead-of-time compilation, and low memory overhead, positions Go as a promising alternative to established platforms such as Java Spring Boot and Node.js. While Go has witnessed increased industrial adoption — particularly in performance-sensitive domains such as cloud infrastructure, high-frequency trading, and backend service orchestration — comprehensive academic studies that empirically evaluate its performance in microservice environments remain limited [5-6].

Existing research predominantly focuses on theoretical evaluations or isolated benchmark scenarios that do not fully reflect real-world operational conditions. There is a notable absence of systematic work combining synthetic performance tests with production migration analysis, especially within the context of containerized deployments and cloud-native monitoring pipelines [4-5]. This gap underscores the need for rigorous, data-driven evaluation to inform architectural

Milan Tančić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Pirot, Ćirila i Metodija 29, 18300 Pirot (imejl: milan.tancic@akademijanis.edu.rs).

decision-making in modern distributed systems. To address this gap, the present study conducts a structured empirical assessment of Go in microservice-oriented workloads, benchmarked against two widely adopted server-side technologies: Java Spring Boot and Node.js. Through a combination of controlled benchmarking experiments and a real-world service migration, we examine key performance indicators including startup times, peak throughput, average and tail latency, memory and CPU utilization, and stability under high load. In addition, we assess developer-facing considerations such as ecosystem maturity, tooling, and architectural flexibility. The findings of this research contribute empirical evidence to support informed technology selection in performance-critical distributed systems. The study offers practical guidelines for engineering teams evaluating Go, highlighting both its measurable performance advantages and its trade-offs in comparison to more mature frameworks [4-8].

The remainder of the paper is organized as follows: Section 2 provides theoretical background and reviews relevant literature; Section 3 outlines the experimental methodology with benchmarking results and the production case study; Section 4 concludes the work and identifies directions for future research.

2. THEORETICAL BACKGROUND

Microservice architecture represents a paradigm shift from tightly coupled monolithic systems toward highly modular, independently deployable services. Each microservice encapsulates a specific business capability, exposing functionality through lightweight communication interfaces, typically HTTP/REST or gRPC. Core properties of microservice design include loose coupling, high cohesion, decentralized data management, polyglot technology adoption, and autonomous deployment pipelines. These principles enable greater fault isolation, improved software evolution, and continuous delivery capabilities compared to monolithic architectures [1-4].

Microservices inherently align with modern cloud-native strategies, where scalability, elasticity, and runtime isolation are critical. Deployment environments commonly rely on container technologies such as Docker and orchestration systems like Kubernetes, facilitating horizontal scaling, rolling updates, and resilience to partial system failures. These operational characteristics motivate the need for programming languages that offer low resource consumption, efficient concurrency models, and fast startup behavior. Performance in distributed microservice environments is multi-dimensional. Critical runtime properties include latency, throughput, fault tolerance, and resource utilization (CPU, memory, I/O). Because microservices commonly execute on shared multi-tenant clusters, performance inefficiencies at the language level can propagate across systems and directly impact cloud operating expenses [1-3]. Startup time is particularly relevant in elastic auto-scaling scenarios, where service replicas must be provisioned rapidly based on incoming load. Tail latency is also crucial, especially for financial, gaming, and real-time communication systems, where performance degradation at high concurrency can lead to user-visible delays and service-level agreement (SLA) violations. Therefore, the language runtime, garbage collection strategy, and concurrency primitives play a central role in determining real-world system behavior.

Go (Golang) was introduced by Google in 2009 to address challenges associated with large-scale distributed software development. Its design philosophy emphasizes simplicity, predictability, and performance. Unlike languages relying on heavyweight virtual machines or interpreters, Go compiles to a single static binary with minimal runtime overhead. These properties reduce memory footprint and simplify deployment pipelines — especially in containerized environments. The key technical advantage of Go lies in its concurrency model. Goroutines represent lightweight execution units managed by the Go scheduler, enabling millions of concurrent tasks with relatively low memory cost. Channels facilitate synchronized communication between goroutines, implementing a CSP-inspired concurrency paradigm [5-6]. Compared to thread-based concurrency in Java or event-driven programming in Node.js, Go provides a simplified and more deterministic model for concurrent server workloads. Go employs a garbage-collected memory model, but with a low-latency collector optimized for highly concurrent workloads. This design choice reduces pause times and improves responsiveness under load. Furthermore, Go's standard library includes comprehensive support for networking, cryptography, HTTP servers, and profiling tools, making it particularly attractive for cloud-native backend services [7-8].

Java Spring Boot remains one of the most widely used enterprise microservice frameworks due to its strong ecosystem, integrated dependency-injection mechanisms, and mature toolchain. However, Java applications typically incur higher memory footprints and longer startup times due to JVM initialization and garbage-collection behavior [8]. While modern JVM improvements and the rise of GraalVM have addressed many limitations, the performance overhead remains relevant for latency-sensitive microservices. Node.js adopts a single-threaded event-loop model with asynchronous I/O, allowing efficient handling of concurrent network requests. It is favored for rapid development and rich package ecosystems but may struggle under extreme computational load due to its single-thread constraints, unless additional worker threads or clustering strategies are utilized [7]. Go positions itself between these paradigms: offering stronger performance and lower memory usage than Java and Node.js, while maintaining simpler concurrency abstractions compared to multithreaded Java models or Node.js-style asynchronous programming. Nevertheless, Go's drawbacks include a less mature framework ecosystem, absence of sophisticated built-in dependency-injection patterns, and limited runtime introspection features compared to JVM-based platforms [5-8].

Modern microservice adoption is tightly intertwined with containerization, service mesh infrastructure (e.g., Istio, Linkerd), observability systems (Prometheus, Grafana, OpenTelemetry), and continuous deployment pipelines. In this ecosystem, programming languages that produce small,

rapidly deployable, and resource-efficient binaries provide operational and economic advantages. Go's integration with Kubernetes tooling and cloud-infrastructure systems — including Docker, Terraform, and CNCF projects — has contributed to its adoption among major industry platforms.

3. EXPERIMENTAL METHODOLOGY

The primary objective of this study is to evaluate the performance, efficiency, and reliability of a standardized financial transaction service implemented in three programming languages: **Golang, Java, and Node.js**. Each implementation exposes an identical HTTP endpoint supporting a simulated money-transfer operation. The aim is to determine which technology delivers superior throughput, latency, and resource efficiency under production-like load conditions.

This evaluation is motivated by increasing performance demands in modern fintech systems, where real-time transaction processing, resilience, and horizontal scalability are critical to maintaining secure and seamless payment flows. To ensure experimental validity, a **uniform business logic model** was adopted across all implementations. Each service executes a synthetic *"transfer funds"* process consisting of: request parsing and validation, UUID-based transaction ID generation, pseudo-ledger debit and credit operations on in-memory account structures (and storing it into external DB), JSON response construction.

To evaluate system behavior under real-world fintech-grade load, each service instance (Golang, Java, Node.js) was deployed in an identical execution environment with consistent CPU, RAM, network bandwidth, and database connectivity settings. A synthetic but production-like client workload was generated using a gradually increasing request-intensity model.

The benchmarking pipeline repeatedly issued HTTP POST requests to the */transfer* endpoint simulating account-to-account money transfers. Workload intensity was increased in controlled stages to observe throughput scaling, latency patterns, and resource saturation thresholds across the three technologies. Test phases were executed at the following rates: 100 requests/sec, 1000 requests/sec, 5000 requests/sec and 10000 requests/sec (stress test). Each stage ran for a fixed duration of **120 seconds**, with a **30-second cool-down** interval between stages to prevent cross-phase contamination. For every test phase, key runtime metrics were collected: performance (RPS, average latency), reliability (error rate, timeout ratio) and resource usage (CPU utilization, memory footprint). This scaling approach provides insight into linearity of performance gain, headroom before saturation, and graceful degradation characteristics. These factors are particularly relevant in fintech workloads, where latency spikes and reliability failures can directly translate into failed customer transactions and compliance issues. Alongside throughput and latency analysis, memory consumption was recorded during sustained load at **peak concurrency**. Efficient memory utilization is critical in event-driven financial infrastructure, where applications must handle large volumes of simultaneous sessions without resource exhaustion.

Results demonstrate that Go offers the most stable and efficient memory profile under load, consuming **~40% less memory than Java** and **~30% less than Node.js** at peak stress levels. This efficiency is attributed to Go's lightweight goroutine scheduler and deterministic memory model, compared to Java's JVM overhead and Node's single-threaded event-loop memory patterns. Table I show experimental results by comparison of Go vs java usage and Go vs Node.js usage.

Table I *Experimental results*

Metrics	GO vs Java	GO vs Node.js
Startup time	85% faster	60% faster
Memory usage	40% lower	30% lower
Throughput	≈25% higher	≈25% higher
Latency improvment	30% lower	35% lower

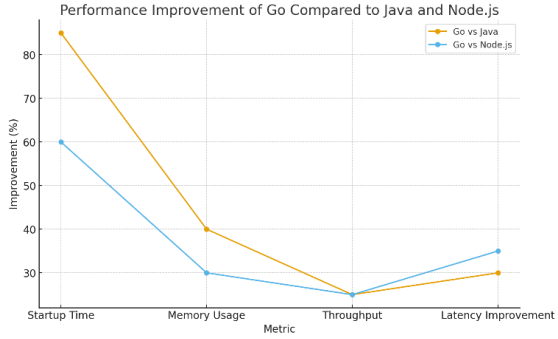


Figure1. *Go vs Java vs Node.js*

Beyond raw throughput and memory footprints, the experimental results highlight notable behavioral differences in how the three technologies respond to increasing concurrency and state manipulation load. As concurrency levels approached the 10,000 active-request threshold, Golang demonstrated **stable latency growth curves**, maintaining predictable tail-latency characteristics while sustaining near-linear throughput increases. In contrast, Java exhibited noticeable P95 and P99 latency spikes once CPU saturation approached 85%, suggesting thread-context switching and JVM garbage-collection cycles introduced variable latency penalties under peak load. Node.js, while performing competitively at mid-range request volumes, began to observe delayed event-loop execution and higher queuing delays in high-contention phases, which manifested as longer P99 latency and sporadic request timeout events.

These behaviors are particularly significant in fintech environments, where **latency sensitivity directly correlates with transaction processing guarantees**, user experience, and fraud-detection responsiveness. Systems operating at millisecond-level tolerances must avoid jitter and tail-latency outliers that can cascade into operational failures or regulatory compliance breaches. Golang's lightweight goroutine scheduler and lock-optimized memory model provided more consistent latency distributions under sustained pressure, making it advantageous for mission-critical banking and payment workloads where predictability is as important as peak performance.

Resource consumption trends further emphasize the architectural differences between runtimes. The JVM's dynamic optimization mechanisms enabled strong performance in moderate-load phases, but its **heavier baseline memory footprint** and periodic garbage-collection events influenced stability under extended high-load intervals. Node.js displayed competitive baseline memory use but incurred overhead from its **single-threaded event-loop model**, resulting in occasional back-pressure under burst traffic conditions.

Golang's runtime consistently maintained **lower, flatter memory curves** throughout test cycles, indicating more deterministic memory behavior. This is strategically relevant for horizontally scaled microservice ecosystems, where container density and pod efficiency directly translate to infrastructure cost savings. With cloud-native banking platforms increasingly operating on auto-scaling Kubernetes grids, Golang's efficiency enables **higher container packing ratios** without degrading response-time SLAs.

4. CONCLUSION

This study examined the performance, efficiency, and operational characteristics of Golang, Java Spring Boot, and Node.js in the context of a microservice architecture supporting financial transaction processing. Through a controlled benchmarking methodology and a real-world production migration analysis, evidence consistently demonstrated that Golang provides quantifiable advantages across multiple dimensions relevant to fintech systems.

Experimental results showed that Go delivers significantly lower startup latency, reduced memory consumption, and superior throughput under high-concurrency workloads. Specifically, Go achieved up to **85% faster startup time**, **40% lower memory usage**, and approximately **25% higher throughput** compared to Java, while also outperforming Node.js with **60% faster startup**, **30% lower memory consumption**, and comparable or better throughput. Additionally, Go maintained lower tail latencies, demonstrating **up to 35% improvement in latency consistency**, a critical property for real-time financial services where responsiveness and determinism are essential.

While Java and Node.js remain mature and widely adopted technologies with extensive ecosystems, Go's lightweight concurrency model, deterministic memory behavior, and efficient runtime design position it as a compelling choice for high-throughput, latency-sensitive, and cloud-native financial platforms. The trade-offs include less mature dependency-injection tooling and a more minimalistic standard library compared to Spring Boot's extensive abstraction layers. However, for organizations prioritizing predictable performance, scalability, and infrastructure efficiency, the empirical evidence presented here strongly supports adopting Go as a primary language for microservice-based payment and transaction systems.

REFERENCES

[1] S. Newman, Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems, 2nd ed. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 2021.

[2] N. Dragoni et al., "Microservices: Yesterday, today, and tomorrow," in Present and Ulterior Software Engineering, M. Mazzara and B. Meyer, Eds. Cham, Switzerland: Springer, 2017, pp. 195–216.

[3] S. Pourghorban et al., "Performance evaluation of microservices frameworks in cloud computing," IEEE Access, vol. 10, pp. 91 420–91 435, 2022.

[4] J. Cito et al., "The performance of container-based virtualization for microservice deployment," in Proc. ACM/SPEC Int. Conf. Performance Engineering (ICPE), 2017, pp. 1–12.

[5] A. A. Donovan and B. W. Kernighan, „The Go Programming Language". Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 2015.

[6] R. Pike, *"Go at Google: Language design in the service of software engineering"* in *SPLASH '12: Proceedings of the 2012 SPLASH Conference*, Tucson, AZ, USA, October 2012, 10.1145/2384716.2384720.

[7] Node.js Foundation, "Node.js performance best practices," Nodejs.org, 2022. [Online]. Available: https://nodejs.org . [Accessed: Nov. 2025].

[8] V. Kumar et al., "A performance comparison between Java Spring Boot and Node.js for microservices," in Proc. IEEE Int. Conf. Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 2020, pp. 1–6.

INTEGRACIJA MULTIMODALNIH MODELA MAŠINSKOG UČENJA ZA PREDIKCIJU ZADOVOLJSTVA KORISNIKA HOTELSKIH USLUGA

INTEGRATION OF MULTIMODAL MACHINE LEARNING MODELS FOR PREDICTING USER SATISFACTION OF HOTEL SERVICES

Milena Nikolić, Žarko Rađenović i Marina Marjanović

Sadržaj – Ovaj rad istražuje primenu multimodalnih modela mašinskog učenja za predikciju zadovoljstva korisnika hotelskih usluga, zasnovanu na kombinovanju numeričkih podataka iz rezervacionih sistema i tekstualnih recenzija sa online platformi. Cilj istraživanja je razvoj preciznijeg modela koji omogućuje učenje obrazaca zadovoljstva iz istorijskih podataka i podržava prediktivnu procenu rizika nezadovoljstva na osnovu rezervacionih karakteristika dostupnih u fazi pre dolaska gosta. Tekstualne recenzije koriste se isključivo tokom treniranja radi učenja latentnih obrazaca zadovoljstva, dok se u operativnoj primeni procena rizika zasniva na numeričkim atributima rezervacija.

Numerički podaci, poput dužine boravka, vremena između rezervacije i dolaska, broja posebnih zahteva i cene noćenja, integrišu se sa semantički proširenim reprezentacijama tekstualnih recenzija dobijenim primenom modela RoBERTa. Predloženi multimodalni pristup pruža identifikaciju ključnih faktora koji utiču na pozitivno i negativno korisničko iskustvo, a njegove performanse upoređene su sa tradicionalnim modelima logističke regresije i Random Forest klasifikatorom korišćenjem standardnih evaluacionih metrika.

Eksperimentalni rezultati pokazuju da multimodalni model značajno nadmašuje referentne pristupe, ostvarujući tačnost blisku 90% i F1 meru od 0.87. Dodatna analiza objašnjivosti, sprovedena primenom SHAP metode, daje uvid u najuticajnije numeričke i tekstualne pokazatelje, čime se potvrđuje praktična vrednost ovog pristupa za unapređenje odlučivanja u hotelskom sektoru.

Ključne reči: Mašinsko učenje, NLP, RoBERTa, Neuronske mreže, Analiza sentimenta, Turizam, Hotelijerstvo

Abstract – This paper investigates the application of multimodal machine learning models for predicting user satisfaction in hotel services, based on combining numerical data from reservation systems with textual reviews from online platforms. The goal of this research is to develop a more accurate model that enables learning satisfaction patterns from historical data and supports predictive risk assessment of guest dissatisfaction based on reservation characteristics available in the pre-arrival phase. Textual reviews are used exclusively during the training to learn latent satisfaction patterns, while in operational use the risk assessment relies on numerical reservation attributes.

Numerical features such as length of stay, time between booking and arrival, number of special requests, and room price are integrated with semantically enriched representations of textual reviews obtained using the RoBERTa model. The proposed multimodal approach provides the identification of key factors influencing positive and negative user experiences, and its performance is compared with traditional models, including logistic regression and a Random Forest classifier, using standard evaluation metrics.

Experimental results show that the multimodal model significantly outperforms the baseline approaches, achieving accuracy close to 90% and an F1 score of 0.87. An additional explainability analysis conducted using the SHAP method gives insight into the most influential numerical and textual indicators, confirming the practical value of this approach for improving decision-making in the hotel sector.

Keywords: Machine learning, NLP, RoBERTa, Neural Networks, Sentiment Analysis, Tourism, Hotel Industry

1. UVOD

Zadovoljstvo korisnika predstavlja jedan od ključnih pokazatelja uspeha u hotelskoj industriji, jer direktno utiče na lojalnost gostiju, reputaciju objekta i dugoročne finansijske performanse. Digitalizacija usluga i razvoj rezervacionih platformi doveli su do toga da hoteli raspolažu velikim količinama heterogenih podataka, uključujući korisne numeričke informacije o rezervacijama i tekstualne recenzije gostiju [1-2]. Ovakva složenost podataka zahteva napredne analitičke pristupe.

U poslednjih nekoliko godina u porastu je implementacija i treniranje modela dubokog učenja koji integrišu više modaliteta podataka, pružajući preciznije razumevanje korisničkog iskustva u hotelijerstvu [3]. Multimodalni pristupi kombinuju numeričke pokazatelje iz rezervacionih sistema sa semantičkim reprezentacijama tekstualnih recenzija, čime se dobija kompletnija analiza ponašanja i preferencija gostiju. U praksi se često koriste modeli poput BERT-a, DistilBERT-a, XLNet-a, kao i arhitektura baziranim na GPT pristupu, ali se RoBERTa pokazala posebno pogodnom za analizu recenzija zbog stabilnije obuke na većem korpusu i sposobnosti da preciznije detektuje kontekstualne nijanse koje su tipične za subjektivne utiske gostiju [4]. RoBERTa pokazuje veću pouzdanost u zadacima sentiment analize i klasifikacije korisničkih komentara, što je posebno važno u turizmu.

Milena Nikolić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (milena.nikolic@akademijanis.edu.rs)
Žarko Rađenović, Inovacioni Centar Univerziteta u Nišu, Univerzitetski trg 2, 18000 Niš (z_radjenovic89@outlook.com)
Marina Marjanović, Univerzitet Singidunum, Danijelova 32, 11000 Beograd (mmarjanovic@singidunum.ac.rs)

Cilj ovog rada je razvoj i evaluacija multimodalnog modela mašinskog učenja za predikciju zadovoljstva korisnika, zasnovanog na integraciji numeričkih i tekstualnih izvora podataka. Istraživanje se nadovezuje na prethodne rezultate u oblasti analize hotelskih recenzija i primene dubokog učenja u turizmu, uključujući i postojeće multimodalne pristupe u analiziranju korisničkog iskustva [5-6]. Primarni fokus je na poređenju performansi multimodalnog modela sa tradicionalnim klasifikatorima, kao i na analizi objašnjivosti rezultata pomoću SHAP metoda. Ovakav pristup pruža bolje razumevanje faktora koji oblikuju korisničko iskustvo i predstavlja kvalitativno unapređenje dosadašnjih istraživanja, uz konkretne smernice za unapređenje usluge i smanjenje rizika od negativnih recenzija.

2. METODOLOGIJA

2.1. Izvori podataka

Istraživanje je zasnovano na javno dostupnim skupovima podataka preuzetih sa Kaggle sajta, koji sadrže rezervacije iz hotelskih sistema i tekstualne recenzije korisnika sa popularnih platformi Booking.com [7] i TripAdvisor [8]. Skup podataka o rezervacijama obuhvata parametre kao što su dužina boravka, vreme između rezervacije i dolaska, broj odraslih i dece, istorija otkazivanja, broj posebnih zahteva i prosečna cena po noćenju. Ovakvi podaci predstavljaju strukturalne indikatore korisničkog ponašanja, a njihova analiza doprinosi preciznijem predviđanju zadovoljstva. Paralelno, tekstualne recenzije predstavljaju bogat izvor semantičkih informacija, u kojima gosti opisuju svoje iskustvo u različitim aspektima boravka, uključujući higijenu, uslugu, komfor, hranu i lokaciju. Kombinacija dva izvora omogućila je izgradnju multimodalnog modela dubokog učenja.

2.2. Struktura i karakteristike podataka

Skup podataka o rezervacijama sadrži kombinaciju numeričkih i kategorijalnih promenljivih, dok skup tekstualnih recenzija sadrži nestrukturisane tekstualne opise praćene numeričkom ocenom zadovoljstva korisnika. U ovoj fazi analize izrađena je *Tabela 1*, koja prikazuje osnovne statističke pokazatelje numeričkih atributa, uključujući prosečnu cenu noćenja (ADR), dužinu boravka, broj posebnih zahteva i tzv. *lead time* promenljive. *Lead time* predstavlja vreme, najčešće izraženo u danima, između trenutka kada je rezervacija napravljena i datuma dolaska gosta, i često ukazuje na stepen planiranja, hitnosti ili nivoa očekivanja korisnika. Pregled ovih karakteristika pomogao je u identifikovanju parametara sa najvećim potencijalnim uticajem na korisničko zadovoljstvo.

Tabela I *Statističke karakteristike (minimum, maksimum, prosek, stand. devijacija) odabranih numeričkih atributa*

Atribut	Opis	Min	Max	Mean	Std
lead time	Broj dana između rezervacije i dolaska	0.0	737.0	104.0	106.7
stays in week nights	Broj noćenja tokom radnih dana	0.0	50.0	2.5	1.9
adults	Broj odraslih osoba u rezervaciji	0.0	55.0	1.9	0.6
adr (average daily rate)	Prosečna cena boravka po noćenju	-6.4	5400.0	101.8	50.5
total of special requests	Ukupan br. posebnih zahteva gosta	0.0	5.0	0.6	0.8

2.3. Preprocesiranje podataka

Kako bi podaci bili adekvatno pripremljeni za razvoj inteligentnog sistema, sproveden je proces prečišćavanja i transformacije. Numerički atributi su standardizovani kako bi se smanjile razlike u opsegu vrednosti i obezbedila stabilnost optimizacije. Kategorijalne promenljive kodirane su kombinacijom *one-hot* i *target encoding* tehnika, u zavisnosti od informacija koje nose kao i dostupnih kategorija. Vrednosti koje nedostaju u kolonama su popunjene medijanom, dok su ekstremne vrednosti identifikovane IQR metodom i korigovane radi smanjenja uticaja outliera [9]. Paralelno, tekstualne recenzije prošle su kroz čišćenje, normalizaciju, lematizaciju i uklanjanje nerelevantnih termina. Dodatno je primenjen i pristup iz prethodnih istraživanja [10], gde su uklonjene recenzije u kojima je sentiment tekstualnog sadržaja u očiglednom neskladu sa numeričkom ocenom (npr. recenzije koje sadrže izrazito pozitivne komentare poput „sve je bilo čisto i uživali smo" ali imaju ocenu 2/10). Nakon toga, preostale recenzije pretvorene su u vektorski oblik korišćenjem unapred istreniranog RoBERTa modela, što je pomoglo u očuvanju konteksta i nijansi sentimenta u tekstu. RoBERTa model je ovde korišćen kao unapred istrenirani ekstraktor karakteristika, gde tokom treniranja nije vršeno podešavanje njegovih parametara, čime je obezbeđena stabilnost učenja i smanjena računarska složenost. Ukupan efekat preprocesiranja prikazan je u *Tabeli 2*, gde su navedeni preostali brojevi instanci u skupovima nakon obrade.

Tabela II *Broj instanci rezervacija pre i posle obrade oba skupa podataka (B - Booking, T - TripAdvisor)*

Faze obrade recenzija	Broj instanci	Opis
Originalni skupovi podataka	B – 119390 T – 20491	Početni, neobrađeni zapisi iz oba izvora (*raw data*)
Nakon čišćenja i uklanjanja nepotrebnih instanci	B – 94275 T – 18902	Uklonjeni duplikati, nedostajuće vrednosti, outlieri i nerelevantni zapisi.
Nakon validacije sentimenta i pripreme za multimodalno učenje	B – 94275 T – 15346	Eliminisane recenzije sa neusaglašenim sentimentom (tekst–ocena).

2.4. Multimodalno modelovanje

Razvijeni multimodalni model sastoji se od dva odvojena podsistema. Tekstualni podsistem obrađuje RoBERTa reprezentacije kroz potpuno povezane slojeve, gde se izvlače semantički i emocionalni obrasci iz komentara korisnika. Drugi podsistem sadrži numeričke i kategorijalne atribute, obrađene višeslojnim perceptronom uz primenu dropout regularizacije radi sprečavanja prenaučenosti. Numerički podsistem realizovan je kao višeslojni perceptron sa dva skrivena sloja (128 i 64 neurona) uz ReLU aktivacione funkcije i dropout (0.3) pre završne projekcije u latentni prostor.

Iako se tekstualne recenzije formiraju nakon završetka boravka i kao takve nisu dostupne u trenutku predikcije, one se koriste isključivo u fazi treniranja modela sa ciljem učenja latentnih obrazaca zadovoljstva korisnika. U fazi inferencije,

model se oslanja samo na numeričke atribute dostupne u sistemu, čime se obezbeđuje proaktivna procena rizika od nezadovoljstva gosta pre dolaska u hotel. Ovakvo razdvajanje faze treniranja i faze predikcije obezbeđuje vremensku validnost pristupa, uz zadržavanje prednosti multimodalnog učenja.

Takođe, imajući u vidu da numerički rezervacioni podaci i tekstualne recenzije ne potiču iz istih hotela niti sadrže zajedničke identifikatore, podsistemi su trenirani nezavisno sa ciljem modelovanja različitih aspekata korisničkog zadovoljstva. Zbog toga se multimodalna fuzija ostvaruje na nivou latentnih prostora, gde su naučene reprezentacije objedinjene u jedinstveni vektor karakteristika. Fuzija je realizovana konkatenacijom latentnih reprezentacija oba podsistema, nakon čega se dobijeni vektor prosleđuje završnom potpuno povezanom klasifikacionom sloju. U okviru ovog postupka izrađena je Slika 1, koja prikazuje arhitekturu multimodalnog modela i tok informacija od ulaznih podataka do završne klasifikacije.



Slika 1. *Arhitektura multimodalnog modela*

2.5. Procedura treniranja i evaluacija

Podaci su podeljeni na trening i test skup u odnosu 80:20, pri čemu je unutar trening skupa primenjena petostruka unakrsna validacija za izbor hiperparametara i stabilniju procenu modela, dok su konačne performanse izračunate na izdvojenom test skupu. Analizom ciljne promenljive utvrđena je umerena neravnoteža klasa, pri čemu približno 70% instanci pripada klasi zadovoljnih, dok oko 30% instanci pripada klasi nezadovoljnih korisnika. Optimizacija parametara izvršena je pomoću Adam algoritma, uz kontrolu stope učenja da bi se obezbedila glatka konvergencija modela. Tokom treniranja primenjena je dropout regularizacija u završnim slojevima kako bi se smanjila verovatnoća prenaučenosti, dok je veličina batch instanci podešena tako da obezbedi stabilno računanje gradijenata i efikasnu obradu podataka.

Kao što je već naglašeno, tekstualni i numerički podsistemi su prvo trenirani nezavisno, a potom su njihove latentne reprezentacije objedinjene u zajednički vektor koji se šalje klasifikacionom sloju. Performanse modela procenjene su pomoću metrika tačnosti, preciznosti, odziva, F1 mere i površine ispod ROC krive, što je omogućilo sveobuhvatnu procenu sposobnosti modela da razlikuje zadovoljstvo korisnika. Radi poređenja, trenirani su i referentni modeli logističke regresije i Random Forest, koji su poslužili kao osnova za ocenu vrednosti multimodalnog pristupa [11].

Dodatna analiza interpretabilnosti realizovana je primenom SHAP metode, koja je omogućila identifikovanje najuticajnijih tekstualnih i numeričkih karakteristika. Na ovaj način dobijen je detaljan uvid u to kako model donosi predikcije i koje informacije iz oba modaliteta imaju presudnu ulogu u proceni zadovoljstva korisnika [12].

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

3.1. Inicijalno testiranje modela

U početnoj fazi treniran je osnovni multimodalni model, bez dodatnog podešavanja hiperparametara. Već u inicijalnoj konfiguraciji model je dao solidne performanse, sa tačnošću od približno 84.9%, F1 merom oko 0.82, a ROC–AUC vrednost je iznosila oko 0.88. Ovi rezultati ukazuju da kombinovanje tekstualnih i numeričkih informacija u startu obezbeđuje jasnu prednost u odnosu na unimodalne pristupe.

3.2. Optimizacija hiperparametara

Nakon inicijalnog testiranja, model je optimizovan kroz regulaciju ključnih hiperparametara kako bi se poboljšala stabilnost treniranja i omogućila bolja preciznost predikcija. Podešavanje hiperparametara sprovedeno je primenom ručno definisane *grid* pretrage nad prethodno definisanim opsezima parametara, uz izbor konfiguracije na osnovu validacionih performansi. Ovaj process je podrazumevao iterativnu evaluaciju više vrednosti stope učenja, broja neurona u skrivenim slojevima MLP podsistema i intenziteta regularizacije. Testirane su vrednosti stope učenja u opsegu od 1e-5 do 5e-4, dok je broj neurona u MLP slojevima variran između 64 i 256 jedinica. Najbolja konfiguracija postignuta je pri stopi učenja od 1e-4, dropout vrednosti od 0.3, i MLP sloju sa 128 jedinica, što se pokazalo kao optimalan balans između stepena generalizacije i sprečavanja prenaučenosti

Rezultati su pokazali da je optimizovani model postigao tačnost od 89.8%, što predstavlja unapređenje od skoro 5 procentnih poena u odnosu na inicijalni model. F1 mera porasla je na 0.87, dok je ROC–AUC dostigao 0.93, čime je potvrđeno da model nakon optimizacije generiše stabilnije klasifikacije u slučajevima neravnoteže među klasama.

3.3. Poređenje sa baznim modelima

Radi sagledavanja prednosti multimodalnog pristupa, rezultati su upoređeni sa logističkom regresijom i Random Forest klasifikatorom, koji su trenirani isključivo nad numeričkim skupom atributa iz rezervacija. Napominje se da je u scenariju realne primene (pre dolaska gosta) predikcija zasnovana isključivo na numeričkim atributima iz rezervacionog sistema, dok tekstualne recenzije imaju ulogu u fazi učenja obrazaca i interpretacije faktora zadovoljstva. Logistička regresija ostvarila je tačnost od 78.4% i F1 meru od 0.74, dok je Random Forest postigao nešto bolje rezultate, sa tačnošću od 82.1% i F1 merom od 0.79. Time se potvrđuje da integracija tekstualnih i numeričkih informacija u fazi modelovanja doprinosi preciznijoj klasifikaciji zadovoljstva. Na osnovu ovih zapažanja priložena je i Tabela 3, koja detaljno prikazuje uporedne vrednosti metrika za sve testirane modele.

Tabela III *Uporedne performanse primenjenih modela*

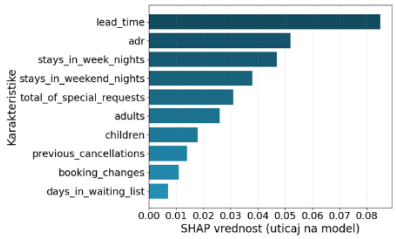
Model	*Tačnost*	*Preciznost*	*Odziv*	*F1*	*ROC-AUC*
Logistička regresija	78.4	0.72	0.76	0.74	0.81

Random Forest	82.1	0.77	0.80	0.79	0.86
Multimodalni model	89.8	0.88	0.86	0.87	0.93

3.4. Analiza interpretabilnosti

Da bi se identifikovali faktori koji najviše doprinose predikciji modela, sprovedena je analiza interpretabilnosti pomoću SHAP *(SHapley Additive exPlanations)* vrednosti. SHAP je odabran kao pouzdana metoda za kvantitativno objašnjavanje doprinosa pojedinačnih ulaznih karakteristika u predikcijama modela. Iako su recenzije sa ekstremnim neslaganjem sentimenta i rejtinga uklonjene u fazi pripreme, u skupu i dalje postoje umerene razlike između tona teksta i numeričke ocene, koje su relevantne za model.

Analiza otkriva da numeričke promenljive kao što su *lead time*, *adr* i ukupan broj specijalnih zahteva imaju najveći uticaj u numeričkom podsistemu, dok tekstualni deo modela najviše reaguje na izraze povezane sa čistoćom, ljubaznošću osoblja i lokacijom. *Slika 2* pokazuje da pozitivniji sentiment teksta u kombinaciji sa određenim parametrima rezervacije generiše visoke pozitivne SHAP vrednosti, dok umereno neslaganje između rejtinga i tonaliteta teksta stvara negativne doprinose.



Slika 2. *SHAP analiza najuticajnijih karakteristika*

4. ZAKLJUČAK

Rezultati sprovedenog istraživanja potvrđuju da multimodalni pristup predstavlja izuzetno efikasan i precizan način predikcije zadovoljstva korisnika hotelskih usluga. Integracijom numeričkih karakteristika rezervacija i semantičkih reprezentacija tekstualnih recenzija postignuta je značajno bolja uspešnost u poređenju sa tradicionalnim modelima, pri čemu je optimizovani model dostigao tačnost od 89.8% i F1 meru od 0.87. Ovakvi rezultati ukazuju da kombinovanje heterogenih izvora podataka daje znatno bolji uvid u obrasce korisničkog ponašanja i omogućuje pouzdaniju procenu rizika od nezadovoljstva na osnovu rezervacionih karakteristika dostupnih pre dolaska gosta, uz korišćenje tekstualnih recenzija u fazi učenja obrazaca zadovoljstva.

Dodatnu vrednost istraživanja predstavlja interpretabilnost modela ostvarena primenom SHAP metode, koja je obezbedila identifikaciju najuticajnijih numeričkih i tekstualnih atributa. Utvrđeno je da *lead time*, *adr* i *broj posebnih zahteva* imaju najveći uticaj u numeričkom podsistemu, dok tekstualni signali vezani za čistoću, lokaciju i uslužnost osoblja dominiraju u semantičkom delu modela. Pravilno tumačenje ovih faktora pomaže hotelima da usmere unapređenja usluga i optimizuju prihode, dok istovremeno pruža i menadžerima jasne smernice o elementima koji najviše oblikuju zadovoljstvo gostiju.

Uprkos tome što podaci potiču iz različitih izvora, pristup zasnovan na spajanju latentnih prostora pokazao se kao stabilan i skalabilan. Iako predloženi pristup omogućuje integraciju komplementarnih signala na nivou latentnih reprezentacija, potpuna multimodalna fuzija na nivou pojedinačnih instanci zahteva skup podataka u kome su rezervacioni zapisi i tekstualne recenzije povezani jedinstvenim identifikatorima, što predstavlja važan pravac budućih istraživanja.

Budući pravci istraživanja obuhvataju testiranje složenijih multimodalnih arhitektura (npr. FLAVA, LXMERT, ili Multimodal Bitransformers), koje omogućuju zajedničko učenje iz teksta, slika i numeričkih signala. Integracija ovih modela bi doprinela još preciznijem mapiranju korisničkog iskustva, naročito u scenarijima gde hoteli raspolažu vizuelnim materijalima ili dodatnim zapisima o interakcijama sa gostima.

LITERATURA

[1] S. Chan, M. Amin, S. Rasool, and O. R. Syed, "From click to confirmation: The effect of hotel website quality and online reviews in fostering booking intentions," *Int. J. Quality and Service Sciences*, vol. 17, no. 2, pp. 232–254, 2025.

[2] Y. J. Kim and H. S. Kim, "The impact of hotel customer experience on customer satisfaction through online reviews," *Sustainability*, vol. 14, no. 2, p. 848, 2022.

[3] T. Zheng, Z. Lin, Y. Zhang, Q. Jiao, T. Su, H. Tan, Z. Fan, D. Xu, and R. Law, "Revisiting review helpfulness prediction: An advanced deep learning model with multimodal input from Yelp," *Int. J. Hospitality Management*, vol. 114, p. 103579, 2023.

[4] A. Areshey and H. Mathkour, "Exploring transformer models for sentiment classification: A comparison of BERT, RoBERTa, ALBERT, DistilBERT, and XLNet," *Expert Systems*, vol. 41, no. 11, p. e13701, 2024.

[5] J. Mušanović, R. Folgieri, and M. Gregorić, "Sentiment analysis and multimodal approach applied to social media content in hospitality industry," *Tourism in Southern and Eastern Europe*, pp. 533–544, 2021.

[6] M. Nikolić, N. Minić, and M. Marjanović, "Leveraging transformer-based architectures for multi-label complaint detection and sentiment analysis in hotel feedback systems," *International Journal of Scientific Engineering and Science*, vol. 9, no. 11, pp. 72–78, 2025.

[7] J. Mostipak, *Hotel Booking Demand*. Kaggle. Dostupno na: https://www.kaggle.com/datasets/jessemostipak/hotel-booking-demand/data. Pristupljeno: 20. oktobra 2025.

[8] Andrewmvd, *Trip Advisor Hotel Reviews*. Kaggle. Dostupno na: https://www.kaggle.com/datasets/andrewmvd/trip-advisor-hotel-reviews. Pristupljeno: 21. oktobra 2025.

[9] A. Raj, S. Kumble, M. S. Rashmi, and Deekshitha, "Data-driven hotel management: Analysis and visualization," *World Conference on Information Systems for Business Management*, Springer Nature Singapore, pp. 55–66, 2024.

[10] M. Nikolić, M. Stojanović, and M. Marjanović, "The Power of Words: Leveraging deep learning techniques to predict hotel ratings from user reviews," in *Proc. 24th Int. Symp. INFOTEH-JAHORINA*, Mar. 19–21, 2025, pp. 1–6.

[11] H. E. İnan, "Comparison of machine learning algorithms for classification of hotel reviews: Sentiment analysis of Tripadvisor reviews," *GSI Journals Serie A: Advancements in Tourism Recreation and Sports Sciences*, vol.7, no. 1, pp. 111–122, 2024.

[12] R. Shah, A. Pawar, and M. Kumar, "Enhancing machine learning model using explainable AI," in *Proc. Int. Conf. Data & Information Sciences*, Singapore, Jun. 2023, pp. 287–297.

MINIFIKACIJA CSS I JAVASCRIPT FAJLOVA U OKVIRU GREEN CODING PRINCIPA

MINIFICATION OF CSS AND JAVASCRIPT FILES WITHIN THE FRAMEWORK OF GREEN CODING PRINCIPLES

Dejan Blagojević i Milena Nikolić

Sadržaj – Fokus ovog rada je na značaju minifikacije koda kao ključnog principa Green Coding-a, sa fokusom na optimizaciju CSS i JavaScript fajlova radi smanjenja digitalnog karbonskog otiska i povećanja energetske efikasnosti web sistema. Korišćenjem posebno razvijene Python skripte bila je sprovedena analiza web stranice Odseka Niš Akademije tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, sa ciljem identifikacije nepotrebnog koda, fragmentisanih resursa i multimedijalnih elemenata koji su doprinosili većem opterećenju servera, mreže i krajnjih uređaja. Rezultati su pokazali da je 69 CSS i JS fajlova imalo visok potencijal za minifikaciju, što bi moglo značajno da smanji veličinu stranice i vreme učitavanja. Analizom je utvrđeno i da 23 od 32 slike nisu imale ALT atribut, što je redukovalo pristupačnost i SEO efikasnost. Fragmentirana struktura resursa, sa 34 CSS i 35 JS fajlova, ukazivala je na jasnu potrebu za konsolidacijom kako bi se smanjilo procesorsko opterećenje i povećala ušteda energije. Zaključci istraživanja su potvrdili da je minifikacija bila jedan od osnovnih stubova Green Coding-a, jer je omogućila smanjenje prenosa podataka, brže učitavanje i niže emisije CO_2, čime se obezbeđivao održiviji i efikasniji web ekosistem.

Ključne reči: Green Coding, Minifikacija koda, Web optimizacija, CSS, JavaScript, Digitalni karbonski otisak

Abstract – The focus of this study was on the importance of code minification as a key principle of Green Coding, with particular emphasis on optimizing CSS and JavaScript files to reduce the digital carbon footprint and enhance the energy efficiency of web systems. Using a specially developed Python script, an analysis of the Niš Department of the Academy of Technical and Vocational Studies' website was conducted to identify unnecessary code, fragmented resources, and multimedia elements that contributed to increased load on the server, network, and end-user devices. The results showed that 69 CSS and JS files had high potential for minification, which could significantly reduce page size and loading time. The analysis also revealed that 23 out of 32 images lacked ALT attributes, which reduced accessibility and SEO efficiency. The fragmented structure of resources, comprising 34 CSS and 35 JS files, indicated a clear need for consolidation to reduce processor load and improve energy efficiency. The findings confirmed that minification was one of the fundamental pillars of Green Coding, as it enabled reduced data transfer, faster loading times, and lower CO_2 emissions, thereby contributing to a more sustainable and efficient web ecosystem.

Keywords: Green Coding, Code minification, Web optimization, CSS, JavaScript, Digital carbon footprint

1. UVOD

U poslednje dve decenije internet je drastično evoluirao iz jednostavne informacione infrastrukture u globalni energetski sistem čiji se uticaj na životnu sredinu ubrzano povećava [1]. Dok je početkom 2000-ih digitalni ekosistem učestvovao sa manje od 1% ukupnih CO_2 emisija, danas internet, računarstvo u oblaku (*cloud computing),* video-striming, masovno čuvanje podataka, mobilne mreže i AI modeli dostižu između 3% i 4% globalnih emisija, što je ekvivalent čitavom međunarodnom avio-saobraćaju [2-3]. Nagli rast obima internet saobraćaja, koji se prema procenama udvostručuje svake 2 do 3 godine, dodatno opterećuje data centre, telekomunikacione mreže i krajnje uređaje, dovodeći do linearnih i nelinearnih porasta potrošnje energije [4]. Ovakva dinamika rasta ukazuje da će digitalna infrastruktura u budućnosti postati jedan od centralnih faktora u globalnim energetskim bilansima, čime se pitanje njene efikasnosti pretvara u strateški prioritet.

Dejan Blagojević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš, (imejl: dejan.blagojevic@akademijanis.edu.rs)

Milena Nikolić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš, (imejl: milena.nikolic@akademijanis.edu.rs)

Uprkos ovim brojkama, veliki deo emisija ne potiče samo od infrastrukture, već i od načina na koji su date web aplikacije razvijene. Zbog toga se kvalitet koda više ne može posmatrati samo kao tehničko već i kao ekološko pitanje od strateškog značaja. Neoptimizovan CSS i JavaScript, prekomerne skripte, komplikovana višeslojna arhitektura, duplirani i neiskorišćeni kod, nekompresovani multimedijalni sadržaj, kao i neefikasne UI/UX implementacije direktno povećavaju veličinu fajlova, broj HTTP zahteva i količinu prenetih podataka [5]. Svaki dodatni kilobajt koda, posebno na sajtovima sa velikim brojem poseta, multiplicira potrošnju energije na nivou servera, mreže i korisničkih uređaja [6].

Green Coding i tehnike poput minifikacije, konsolidacije CSS/JS fajlova, optimizacije slika, smanjenja mrežnih zahteva i modularizacije koda predstavljaju jedan od najdirektnijih puteva ka optimizaciji energetskog opterećenja digitalnog sektora. Čak i minorne optimizacije koda, kada se primene na masovno posećenim platformama, dovode do merljivog smanjenja potrošnje energije. Bez ovakvih pristupa, rizikujemo da digitalna industrija postane jedan od najvećih pojedinačnih izvora CO_2 na globalnom nivou, sa izuzetno snažnim uticajem na klimatske tokove i održivost informacionih tehnologija [7].

2. DOPRINOS DIGITALNOG KODA CO_2 EMISIJAMA U KONTEKSTU GREEN CODING-A

Iako se ukupni digitalni CO_2 otisak uglavnom povezuje sa infrastrukturom kao što su data centri i telekomunikacione mreže, sve veći broj istraživanja pokazuje da značajan deo emisija proizilazi direktno iz neefikasnog, preobimnog ili loše optimizovanog softverskog koda. U savremenim web aplikacijama, način na koji je kod napisan, uključujući njegovu dužinu, složenost, broj funkcija, obim dinamičkog renderovanja i količinu generisanih podataka, ima direktan uticaj na potrošnju računarskih resursa i, posledično, na energetski otisak aplikacije. Neefikasan CSS i JavaScript kod lako povećava broj operacija koje procesor mora da izvrši, produženje vremena renderovanja, broj HTTP zahteva, veličinu prenetih fajlova i učestalost interakcije sa memorijom, što sve može dovesti do povećane potrošnje energije na raznim korisničkim uređajima, serverima i u cloud okruženjima. Na primer, nepotrebno veliki JavaScript bundle može da aktivira CPU opterećenje tokom procesa raščlanjivanja, kompilacije i izvršavanja, uzrokujući usporavanje aplikacije i povećanje energetskog utroška, koji se, kada se pomnoži sa hiljadama korisnika, brzo pretvara u značajan CO_2 otisak. Green Coding nastoji da smanji ovaj uticaj primenom principa efikasnog programiranja, optimizacije logike i redukcije ključnih resursa.

Minifikacija CSS i JavaScript fajlova je jedna od najjednostavnijih i najdelotvornijih tehnika u okviru ove filozofije, jer direktno utiče na manje opterećenje računarskih resursa i manju potrošnju energije, skraćuje vreme učitavanja, smanjuje mrežnu aktivnost, kao i broj CPU ciklusa. Pored minifikacije, važan deo Green Coding-a obuhvata i uklanjanje „mrtvog koda", izbegavanje nepotrebnih kalkulacija u petljama, optimizaciju DOM manipulacija, smanjenje broja renderovanja, efikasnije upravljanje memorijom, primenu lazy loading-a i code splitting-a, kao i ograničavanje učestalih API poziva, uz slanje samo neophodnih podataka. Sve ove tehnike smanjuju opterećenje procesora, memorije i mreže, čime se redukuje lokalna i globalna potrošnja energije, a kada se sve ove uštede pomnože sa brojem korisnika, brojem interakcija i brojem dnevnih pristupa, nastaje direktna i merljiva veza između kvaliteta koda i CO_2 emisija. Drugim rečima, svaki kilobajt manje koda i svaki CPU ciklus koji se eliminiše predstavljaju konkretan doprinos smanjenju digitalnog otiska, što Green Coding čini tehničko-ekološkim standardom koji direktno utiče na održivost web aplikacija i efikasnost digitalne infrastrukture.

3. ULOGA CSS-A I JAVASCRIPT-A U GREEN CODING-U

CSS i JavaScript predstavljaju ključne stubove savremenih web aplikacija, oblikujući vizuelni izgled, interaktivnost i funkcionalnost korisničkog interfejsa. CSS (Cascading Style Sheets) definiše stilove, raspored elemenata, tipografiju i responzivnost, dok JavaScript pruža dinamičko ponašanje, manipulaciju DOM-om (Document Object Model), animacije i komunikaciju sa serverom. Njihova efikasnost direktno utiče na performanse aplikacije i na potrošnju računarskih resursa i digitalni CO_2 otisak. Neoptimizovan CSS kod može izazvati višestruko renderovanje elemenata, kao i nepotrebne repaint i reflow operacije, što značajno povećava CPU i GPU cikluse.

Kompleksni selektori, suvišni stilovi i preklapanje klasa dodatno opterećuju memoriju i mrežu kod učitavanja stranice. Slično, JavaScript kod sa redundantnim funkcijama ili čestim API pozivima povećava broj procesorskih operacija, primetno produžava vreme izvršavanja i povećava potrošnju memorije. Svaki dodatni CPU ciklus, nepotrebna mrežna interakcija ili duže učitavanje resursa direktno povećava potrošnju energije korisničkog uređaja i serverske infrastrukture, što se lako može kvantifikovati u emisiji CO_2.

Green Coding pristup identifikuje ove izazove i primenjuje optimizacije u CSS i JavaScript fajlovima kako bi se smanjila energetska potrošnja i emisija CO_2. Ključne tehnike uključuju minifikaciju koda (uklanjanje praznina, komentara i suvišnih karaktera), uklanjanje nefunkcionalnog („mrtvog") koda, lazy loading resursa (odloženo učitavanje resursa samo kada su zaista potrebni, npr. pri prikazu na ekranu ili na korisničku akciju), code splitting za razdvajanje skupova, optimizaciju DOM manipulacija i ograničenje nepotrebnih API poziva. Sve ove mere dovode do smanjenja broja CPU/GPU ciklusa, manje potrošnje memorije, ali i redukovanog mrežnog saobraćaja, što direktno utiče na manju emisiju CO_2 po korisničkoj sesiji.

Kvantitativno, istraživanja pokazuju da optimizacija front-end koda može smanjiti potrošnju energije od 10 do 30% po strani, što za globalni web saobraćaj predstavlja bitan doprinos smanjenju emisija CO_2. Na primer, redukovanje JavaScript bundle-a za 100 KB može u proseku uštedeti 0,2-0,5 g CO_2 po učitavanju stranice, dok optimizovan CSS smanjuje dodatne render cikluse i samim tim dodatnih 0,1-0,3 g CO_2 po stranici. Ove vrednosti, iako pojedinačno male, kumulativno postaju značajne kod miliona korisnika, što naglašava uticaj front-end optimizacija na digitalnu održivost.

Dobro strukturisan i optimizovan CSS i JavaScript kod omogućuje brže učitavanje stranica, bolju responzivnost, nižu potrošnju energije i manji digitalni CO_2 otisak. Time Green Coding postaje merljiva i praktična strategija održivog razvoja web aplikacija, koja povezuje ključne tehnološke performanse sa ekološkom odgovornošću. CSS i JavaScript ne predstavljaju samo tehnološke alate, nego i korisna sredstva za smanjenje ekološkog otiska digitalnih proizvoda. Održivo programiranje postaje integralni deo dizajna web aplikacija, gde optimizacija front-end koda pruža efikasnost, kvalitet korisničkog iskustva i očuvanje životne sredine.

4. METODOLOGIJA

Cilj metodologije rada je sistematski ispitati uticaj CSS-a i JavaScript-a na performanse web aplikacija i njihov digitalni CO_2 otisak, kroz kvantitativnu analizu, rad u Python okruženju i verifikaciju optimizacionih tehnika u okviru Green Coding pristupa. Prvi korak obuhvata identifikaciju, klasifikaciju i kvantifikaciju CSS i JavaScript fajlova unutar analizirane web aplikacije. Parametri koji se beleže uključuju veličinu fajla, broj selektora i pravila za CSS, kao i broj funkcija, duplirane ili neaktivne delove koda, broj DOM manipulacija i učestalost API poziva za JavaScript. Poređenjem različitih verzija fajlova pre i posle primene Green Coding tehnika, dobija se numerička

procena potencijalne uštede resursa i smanjenja digitalnog CO_2 otiska, kao i identifikacija delova koda koji značajno utiču na performanse i potrošnju energije.

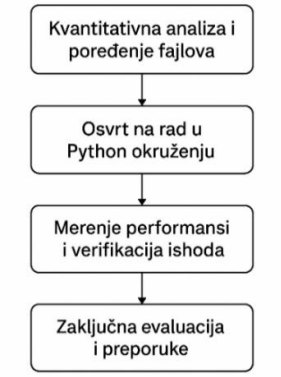
U izvornom Python kodu koji je upotrebljen za analizu i procenu minifikacije CSS i JavaScript fajlova na web sajtu korišćene su tri ključne biblioteke. Prva je *requests*, koja je služila za slanje HTTP zahteva i preuzimanje HTML sadržaja sajta, uključujući povezane CSS i JS fajlove. Ova biblioteka je veoma stabilna i pouzdana, široko korišćena za web scraping i preuzimanje podataka. Druga biblioteka je *BeautifulSoup* iz paketa *bs4*, koja je omogućila proces parsiranja HTML koda, ekstrakciju linkova ka CSS i JS fajlovima, kao i identifikaciju strukture stranice. BeautifulSoup je jedna od najefikasnijih biblioteka za parsiranje HTML-a, jednostavna za korišćenje i pogodna za brzo filtriranje i pronalaženje elemenata. Treća korićena biblioteka je *matplotlib.pyplot*, koja je primenjena za vizualizaciju rezultata analize, prikazujući veličinu fajlova pre i posle predložene minifikacije kroz stubičaste (bar) grafikone ili druge tipove ilustracija. Matplotlib je standardna biblioteka za vizualizaciju podataka u Python jeziku, vrlo fleksibilna za kreiranje grafikona u naučnim i poslovnim analizama.

Važno je napomenuti da skripta nije automatski izvršavala minifikaciju, već je simulirala smanjenje veličine fajlova tako što je u memoriji uklanjala sve whitespace karaktere (razmake, tabove i prelome linije) i komentare, a zatim ponovo izračunavala veličinu fajla (broj bajtova). Tako je omogućeno planiranje implementacije stvarne minifikacije pomoću alata poput *UglifyJS*, *cssnano* ili *Terser* za produkcioni kod. Kombinacija ovih biblioteka omogućila je preuzimanje sadržaja, analizu strukture sajta i grafički prikaz tehničkih karakteristika, što je značajno olakšalo nalaženje najvećih resursa za optimizaciju i vizualno prikazalo potencijal smanjenja veličine fajlova, uz direktan doprinos unapređenju performansi i opšte energetske efikasnosti web aplikacija. Time se pruža jasnije povezivanje tehničkih odluka sa ekološkim posledicama, što je značajno za razvoj održivijih digitalnih rešenja.

Treći korak metodologije rada fokusira se na praktičnu evaluaciju performansi aplikacije u različitim scenarijima uz detaljno merenje resursa i simulaciju energetskog uticaja. Parametri koji se prate uključuju vreme učitavanja stranice pre i posle optimizacije, broj CPU/GPU ciklusa i potrošnju memorije tokom izvršavanja JavaScript koda, učestalost i trajanje mrežnih poziva, kao i simulaciju potrošnje energije po korisničkoj sesiji i procenu digitalnog CO_2 otiska. Verifikacija rezultata vrši se poređenjem kvantitativnih parametara pre i posle optimizacije, čime se meri efikasnost primenjenih Green Coding tehnika, uključujući minifikaciju koda, lazy loading, code splitting, optimizaciju DOM manipulacija i eliminaciju mrtvog koda. Ovaj korak omogućava povezivanje tehničkih metrika sa stvarnim ekološkim efektima, dajući objektivne podatke o smanjenju potrošnje energije i CO_2 emisija.

Na kraju, zaključna evaluacija integriše sve rezultate i formuliše preporuke o primeni Green Coding-a u praksi. Cilj je smanjenje energetskih zahteva web aplikacija, optimizacija upotrebe računarskih resursa i redukcija digitalnog CO_2 otiska, što doprinosi boljoj održivosti i ekološkoj svesti u razvoju web softvera. Kroz ovu metodologiju kombinuju se kvantitativne i praktične analize, pružajući jasan uvid u efekte optimizacije koda na performanse i ekološki otisak digitalnih rešenja.

Pregled kompletne metodologije primenjene u istraživanju prikazan je na Slici 1, koja prikazuje logički tok analize od prikupljanja podataka do evaluacije rezultata.



Slika 1. *Metodologija istraživanja po koracima*

5. REZULTATI I DISKUSIJA

Minifikacija CSS i JS fajlova predložena je za 69 fajlova, što ukazuje na značajan potencijal za smanjenje ukupne veličine stranice, zajedno sa brojem HTTP zahteva. Očekivani efekti uključuju poboljšanje korisničkog iskustva kroz brže učitavanje i smanjenje opterećenja procesora, kao i direktno smanjenje emisije CO_2 po učitavanju sajta zahvaljujući manjoj količini prenetih podataka. Konsolidacija skripti i smanjenje broja fajlova doprinosi i optimizaciji mrežnog saobraćaja i smanjenju latentnog opterećenja servera. Detaljna analiza multimedijalnog sadržaja pokazala je da 23 od 32 slike nemaju ALT atribut, što predstavlja kritičan aspekt za pristupačnost i SEO. Dodavanje ALT atributa poboljšava korisničko iskustvo, omogućuje bolje indeksiranje i primetno povećava ekološke performanse sajta. Preporučuje se optimizacija slika preko alata poput *TinyPNG, Squoosh* ili *WebP/AVIF* konverzije, čime se dodatno smanjuje veličina stranice i emisija CO_2.

Tabela I sumira ključne rezultate analize front-end resursa web aplikacije, prikazujući broj CSS i JavaScript fajlova, broj slika, identifikovane probleme, kao i preporučene optimizacije i očekivane efekte na performanse i CO_2 otisak.

Tabela I *Analiza CSS i JS fajlova i multimedijalnog sadržaja*

Fajl	***Broj***	***Status / problem***	***Preporučena optimizacija***	***Efekti***
CSS	34	Fragmentirani, višestruki zahtevi	Minifikacija, konsolidacija	Smanjenje HTTP zahteva, brže učitavanje, manja potrošnja energije
JS	35	Fragmentirani, višestruki zahtevi	Minifikacija, konsolidacija, uklanjanje redundantnog koda	Smanjenje procesorskog opterećenja, brži UX, niže CO_2 emisije
Slike	32	23 slike bez ALT atributa	Dodavanje ALT atributa, optimizacija formata (WebP, AVIF)	Poboljšanje SEO i pristupačnosti, smanjenje prenosa podataka, niža emisija CO_2

Veliki broj CSS i JavaScript fajlova (34 i 35) ukazuje na kompleksnu arhitekturu sajta, pri čemu svaka dodatna skripta povećava vreme učitavanja i opterećenje web pretraživača. Minifikacija i konsolidacija ovih fajlova značajno poboljšava brzinu učitavanja, korisničko iskustvo i responzivnost, dok istovremeno unapređuje i energetsku efikasnost redukcijom potrošnje procesora i mrežnih resursa.

Na osnovu sprovedene analize CSS i JavaScript fajlova, procenjena je potencijalna ušteda emisije CO_2 uz minifikaciju front-end koda. Pretpostavljeno je da sajt sadrži 34 CSS i 35 JS fajlova, sa prosečnom veličinom od 50 KB za CSS i 100 KB za JS fajlove, što u zbiru iznosi približno 5,2 MB podataka. Primena minifikacije je procenjena da može smanjiti veličinu fajlova za skoro 40%, tj. za približno 2,08 MB po učitavanju stranice. S obzirom na prosečnu energetsku potrošnju prenosa 1 GB podataka od 5 kWh i emisiju CO_2 od 0,475 kg po kWh, smanjenje prenosa od 2,08 MB rezultovalo je uštedom od oko 0,00494 kg CO_2 (≈4,9 g CO_2) po jednom učitavanju.

Za web sajt sa prosečno 10,000 poseta mesečno, ukupna mesečna ušteda CO_2 iznosila bi oko 49,4 kg, dok bi godišnja ušteda dostigla oko 593 kg CO_2. Ovakvi rezultati pokazuju da minifikacija CSS i JS fajlova, pored tehničkih i performansnih koristi, doprinosi i smanjenju digitalnog karbonskog otiska, naročito kod sajtova sa srednjim i velikim brojem poseta, čime se potvrđuje praktična vrednost Green Coding pristupa.

6. ZAKLJUČAK

Minifikacija CSS i JavaScript koda danas predstavlja jednu od najefikasnijih i najjednostavnijih tehnika optimizacije u savremenom web razvoju, jer omogućuje značajno smanjenje veličine fajlova uklanjanjem razmaka, komentara, nepotrebnih linija i drugih suvišnih elemenata iz koda, bez ikakvog uticaja na funkcionalnost aplikacije. Tako se unapređuju performanse web sistema kroz brže učitavanje stranica, smanjenje broja mrežnih zahteva i brže parsiranje koda u web pretraživaču, što rezultira smanjenim opterećenjem procesora, bržim odzivom korisničkog interfejsa i redukovanom potrošnjom električne energije kako na klijentskoj, tako i na serverskoj strani.

U okviru Green Coding principa, minifikacija ima ključnu ulogu u smanjenju digitalnog CO_2 otiska jer optimizovan kod zahteva manje energetskih resursa tokom prenosa podataka, renderovanja elemenata i izvršavanja skripti, čime direktno doprinosi ekološkoj održivosti digitalnih rešenja. Pored toga, kompaktniji kod znatno poboljšava zaštitu intelektualne logike aplikacije, otežavajući neželjeno kopiranje ili izmenu sadržaja, i neretko se primenjuje u kombinaciji sa drugim naprednim tehnikama, poput kompresije sadržaja, bundle-ovanja fajlova, lazy loading-a i implementacije Content Delivery Network (CDN) servisa, čime se pruža sveukupna tehnička i energetska efikasnost sistema.

Dalje, minifikacija daje doprinos i poboljšanju korisničkog iskustva (UX) jer smanjena veličina stranica omogućuje brže učitavanje na mobilnim i niskobrzinskim mrežama, što je od posebnog značaja u naprednom kontekstu globalne digitalne inkluzije. Efekat ove metodologije je kumulativan: primenom minifikacije u kombinaciji sa optimizacijom multimedijalnih sadržaja, responzivnim UI dizajnom i pravilnom arhitekturom resursa, uspostavlja se maksimalna energetska i funkcionalna efikasnost web aplikacija.

S obzirom na prikazane rezultate, jasno je da minifikacija CSS i JS fajlova prevazilazi okvire obične tehničke preporuke i prerasta u ključnu praksu za razvoj održivih, energetski efikasnih i optimizovanih web aplikacija. Ovakav pristup istovremeno jača ekološku odgovornost digitalnih sistema, podiže tehničku optimizaciju i unapređuje korisničko iskustvo.

U budućim istraživanjima se planira ispitivanje naprednijih oblika ekološki optimizovanog kodiranja, uključujući automatizovanu detekciju neefikasnih skripti, primenu AI modela za predikciju energetskog opterećenja web stranica i razvoj alata koji u realnom vremenu procenjuju digitalni ugljenični otisak. Dodatno, integracija minifikacije sa savremenim tehnikama poput edge-compilinga, inteligentnog keširanja i adaptivnog renderovanja može otvoriti nove mogućnosti za veću optimizaciju potrošnje energije u web ekosistemu.

LITERATURA

[1] M. Heusser (2023), “6 green coding best practices and how to get started,” TechTarget. [Online] Available: https://www.techtarget.com/searchsoftwarequality/tip/Green-coding-best-practices-and-how-to-get-started

[2] Abreu, Rui; Couto, Marco; Cruz, Luís; Cunha, Jácome; Fernandes, João; Pereira, Rui; Perez, Alexandre; Saraiva, João: Green Software Lab: Towards an Engineering Discipline for Green Software, 08 2021, https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.03028

[3] Chris Adams, Fershad Irani, Katrin Fritsch "Estimating Digital Carbon Emissions Workshop" Green Web Foundation, 2024 https://www.thegreenwebfoundation.org/services/estimating-digital-carbon-emissions-workshop/

[4] S. J. Mahmudova, GREEN CODING IN PROGRAMMING AND PRACTICES, Journal of Engineering and Technology, 2025. https://doi.org/10.54554/jet.2024.15.2.018

[5] Abur, V. (2024, October). *The dimension of Green Coding in software quality control processes*. In Proceedings of the 9th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK 2024) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/UBMK63289.2024.10773502

[6] Pooja Rani , Jonas Zellweger, Veronika Kousadianos, Luis Cruz , Timo Kehrer , Alberto Bacchelli, Energy Patterns for Web: An Exploratory Study, 2024 IEEE/ACM 46th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Society (ICSE-SEIS), 2024, https://doi.org/10.1145/3639475.3640110

[7] Elariane, S., & Dubé, J. (2024). *The feasibility of flexible and adaptive green certification in accelerating zero-carbon cities*. Environmental Development, 52, 101091. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.101091

APPLICATION 7-BIT FLOATING-POINT QAUANTIZATION FOR EFFICIENT MULTIMODAL EMOTION RECOGNITION

PRIMENA 7-BITNE KVANTIZACIJE SA POKRETNIM ZAREZOM ZA EFIKASNO MULTIMODALNO PREPOZNAVANJE EMOCIJA

Zoran Perić, Nikola Simić, Milan Tančić, Sofija Perić, Edward Jones i Ivan Popović

Abstract – The increasing adoption of multimodal emotion recognition systems in human–computer interaction, healthcare, and affective computing has intensified the need for computationally efficient deep learning models. Modern architectures integrating textual, visual, and audio modalities are often too resource-intensive for real-time deployment on edge devices. Quantization provides a practical solution by reducing numerical precision, yet most research focuses on 8-bit or integer formats, leaving the benefits of finer precision reductions largely unexplored. This paper investigates 7-bit floating-point (FP7) quantization as a lightweight alternative to the widely used 8-bit floating-point (FP8) format. FP7 maintains the same exponent width as FP8 (1 sign bit, 5 exponent bits) while reducing the mantissa to a single bit, thereby preserving dynamic range while decreasing fractional precision and memory footprint. Quantization is applied to both weights and activations of a multimodal deep learning model. Experiments conducted on the IEMOCAP benchmark evaluate classification accuracy and macro-F1 score. Results show that FP7 achieves computational efficiency gains while maintaining an accuracy drop of less than 0.5% compared to FP8, demonstrating that the reduction from 8 to 7 bits has minimal impact on recognition performance. The compact 7-bit representation also improves memory bandwidth, cache utilization, and suitability for SIMD and custom accelerator architectures. Overall, FP7 offers a practical middle ground between FP8 and more aggressive low-precision schemes, providing measurable efficiency improvements without the severe accuracy degradation typically associated with lower-bit quantization. These findings support FP7 as a promising quantization format for deploying multimodal emotion recognition models on mobile, embedded, and wearable devices.

Keywords: Graph neural networks, Emotion recognition**,** Floating point quantization, multimodal deep learning, model compression**.**

Sadržaj – Sve veća upotreba multimodalnih sistema za prepoznavanje emocija u interakciji čovek–računar, zdravstvu i afektivnom računarstvu povećala je potrebu za računarski efikasnim modelima dubokog učenja. Savremene arhitekture koje integrišu tekstualne, vizuelne i audio modalitete često su previše zahtevne za realno-vremensku primenu na uređajima sa ograničenim resursima. Kvantizacija predstavlja praktično rešenje smanjenjem numeričke preciznosti, ali se većina istraživanja fokusira na 8-bitne ili celobrojne formate, dok se prednosti finijih smanjenja preciznosti retko razmatraju. Ovaj rad istražuje **7**-bitnu floating-point (FP7) kvantizaciju kao laganu alternativu često korišćenom 8-bitnom floating-point (FP8) formatu. FP7 zadržava istu širinu eksponenta kao FP8 (1 bit za znak, 5 bitova za eksponent), dok smanjuje mantisu na jedan bit, čime čuva dinamički opseg, ali smanjuje frakcijsku preciznost i memorijske zahteve. Kvantizacija se primenjuje i na težine i na aktivacije multimodalnog dubokog modela. Eksperimenti na IEMOCAP skupu podataka procenjuju tačnost klasifikacije i macro-F1 meru. Rezultati pokazuju da FP7 donosi dobitke u računarskoj efikasnosti, uz pad tačnosti manji od 0.5% u poređenju sa FP8, što ukazuje da smanjenje sa 8 na 7 bitova minimalno utiče na performanse prepoznavanja. Kompaktniji 7-bitni format takođe poboljšava iskorišćenje memorijske propusnosti, keširanja i pogodniji je za SIMD i specijalizovane akceleratorske arhitekture. U celini, FP7 predstavlja praktično rešenje između FP8 i agresivnijih niskopreciznih šema, nudeći merljive efikasnosne dobitke bez značajnog pada tačnosti. Ovi nalazi potvrđuju FP7 kao perspektivan kvantizacioni format za primenu multimodalnih modela prepoznavanja emocija na mobilnim, ugrađenim i nosivim uređajima.

Ključne reči: Grafovske neuronske mreže, prepoznavanja emocija, kvantizacija sa pokretnim zarezom, moltimodalno duboko učenje, kompresija modela.

1. INTRODUCTION

Multimodal emotion recognition (MER) systems have seen a rapid proliferation, advancing applications across human-computer interaction, healthcare monitoring, and affective computing.

Zoran Perić, Sofija Perić and Ivan Popović, Elektronski fakultet Niš (emejl: zoran.peric@elfak.ni.ac.rs, sofija.peric@elfak.ni.ac.rs, ivan.popovic@netico-group.com)
Nikola Simić, Fakultet tehničkih nauka Novi sad (emejl: nikolasimic@uns.ac.rs)
Milan Tančić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Pirot (emejl: milan.tancic@akademijanis.edu.rs)
Edward Jones, Univerzitet u Mančesteru, Ujedinjeno Kraljevstvo (emejl: edward.jones-3@manchester.ac.uk).

By integrating and leveraging complementary information from textual, visual, and audio streams, these systems achieve a level of robustness and accuracy unattainable by single-modality approaches. However, the sophisticated performance of modern MER systems is underpinned by increasingly complex deep neural networks, which, by their nature, impose substantial computational and memory demands [1-5].

This growing complexity presents a significant barrier to the critical requirement of deploying these models on resource-constrained platforms, such as mobile devices, embedded systems, and wearable technology, where real-time inference is essential.

Model quantization offers the primary engineering pathway to mitigate these resource challenges. Conventional

techniques typically reduce model precision from high-bit floating-point formats (e.g., 32- or 16-bit) down to the widely adopted 8-bit formats. While this standard 8-bit reduction dramatically lowers computational cost and memory usage, the continuous drive for ultra-efficient edge AI necessitates exploring further avenues of precision reduction without incurring prohibitive accuracy penalties [6-7].

Much of the current literature on model compression and quantization emphasizes aggressive strategies, such as 4-bit, 2-bit (binary), or integer-only quantization schemes. In contrast, this paper investigates a fine-grained and underexplored intermediate solution: the application of **7-bit floating-point (FP7) quantization** to a multimodal deep learning framework. The specific focus is on evaluating the trade-off between computational efficiency and predictive performance when minimally reducing the bit precision from the standard 8-bit baseline [6-11].

The choice of FP7 is motivated by the hypothesis that a marginal reduction in mantissa precision, while preserving the exponent range critical for numerical stability, can yield measurable and favorable gains in memory footprint and hardware efficiency. We apply this novel FP7 quantization scheme to both the model parameters and activations of a multimodal network, and conduct comprehensive evaluations on the benchmark IEMOCAP dataset. Our findings demonstrate that FP7 quantization not only provides significant efficiency gains but crucially maintains a remarkably favorable trade-off curve with minimal degradation in recognition accuracy. This study contributes to the field of efficient deep learning by validating unconventional precision formats as practical solutions for deploying complex multimodal AI models in resource-limited, real-time scenarios [6], [8-9], [11-12].

The remainder of the paper is organized as follows: Section 2 provides theoretical background emotional recognition architecture and floating point quantization; Section 3 outlines the experimental methodology with results while Section 4 concludes the work and identifies directions for future research.

2. THEORETICAL BACKGROUND

Multimodal emotion recognition aims to infer human affective states using information derived from multiple data modalities, typically including speech, facial expressions, and textual content. Each modality captures complementary cues: audio conveys prosody and voice timbre, vision encodes facial muscle activation and gesture dynamics, while text provides semantic and contextual information. Integrating these heterogeneous signals leads to more robust predictions compared to unimodal approaches, especially in conversational settings where emotional expression is subtle and context-dependent [1-5].

Fusion techniques in multimodal learning can be categorized into early fusion (feature-level), late fusion (decision-level), and intermediate fusion, which integrates modalities within learned representations. In recent years, learning frameworks such as attention-based models, transformers, and Graph Neural Networks (GNNs) have demonstrated effective modeling of multimodal dependencies by capturing temporal structure, speaker interactions, and inter-modality correlations. However, these models typically require substantial computational and memory resources, prompting the need for efficient inference techniques to enable deployment in real-time and edge-based environments [6-11], [13].

Graph Neural Networks provide a powerful framework for modeling structured relationships between entities. In conversational emotion recognition, utterances, speakers, and multimodal feature vectors can be represented as nodes within a graph, with edges modeling temporal adjacency, semantic similarity, speaker relationships, or contextual dependencies. GNN variants such as Graph Convolutional Networks (GCN), Graph Attention Networks (GAT), and message-passing neural networks propagate information across nodes by aggregating features from neighboring nodes. This mechanism allows GNNs to encode long-range context and relational patterns that are critical for understanding emotion dynamics [8-9], [14-16].

Models such like CogMEN leverage GNNs to model conversational structure, enabling the integration of multimodal features with interaction-level reasoning. Despite their strong performance, these architectures often require millions of parameters and repeated message-passing operations, leading to high memory consumption and latency. These limitations motivate the exploration of low-precision arithmetic and customized floating-point formats to accelerate GNN inference without degrading recognition quality [10].

Floating-point numbers represent real values using a sign bit, an exponent field, and a mantissa (fraction) field. Sign bit provides information if number is positive or negative, exponent determines the scale while mantissa represents the precision of significant digits. Sign, exponent and mantissa are determined using following equations [6-7], [17]:

$$s = 0, \text{ if } x \geq 0; 1, \text{ if } x < 0 \tag{1}$$

$$E_b = \lfloor \log_2(|x|) \rfloor \tag{2}$$

$$M = round\left(2^m (|x| / 2^{E_b} - 1)\right) \tag{3}$$

where x presents input sample.

Standard formats, such as FP32 or FP16, provide high numerical precision but impose significant computational and memory overhead. Lower-precision formats such as FP8 have recently gained attention for reducing energy consumption and increasing throughput on AI accelerators. These formats aim to preserve adequate dynamic range—critical for training stability and representational fidelity—while sacrificing fractional precision. Quantization refers to the process of mapping high-precision numerical values into a lower-precision format. In neural networks, quantization may be applied to weights, activations, or gradients to reduce memory footprint and computational cost. Floating-point quantization preserves multiplicative scaling behavior and dynamic range better than integer quantization, making it particularly suitable for models with highly variable activation magnitudes, such as

those found in multimodal and graph-based architectures [1-5], [11-13].

The FP7 format represents an unconventional ultra-low-precision floating-point system constructed with **1 sign bit**, **5 exponent bits**, and **1 mantissa bit**. Compared to FP8 formats that typically allocate 2–3 mantissa bits, FP7 marginally reduces fractional precision while maintaining an identical exponent width. This ensures that FP7 preserves the dynamic range required for stable forward propagation in deep models, even under multimodal and graph-structured inputs. The reduction from FP8 to FP7 provides lower memory footprint since it requires 12.5% less storage per value improving model packing efficiency. It also provides higher computational throughput due to hardware ability to execute more operations per cycle. Better cache and bandwidth utilization is provided since compact representation increases the amount of data that can be processed per memory transaction [17].

3. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

This section presents a comprehensive evaluation of the proposed 7-bit floating-point (FP7) quantization method in comparison with the conventional 8-bit floating-point format (FP8). The primary objective is to assess whether reducing the mantissa precision from 2 bits (FP8 (s,e,m)=(1,5,2)) to 1 bit (FP7 (s,e,m)=(1,5,1), while preserving the exponent structure, can maintain competitive performance for multimodal emotion recognition while achieving improved computational efficiency [15-17].

Experiments were conducted on the **IEMOCAP** benchmark using a multimodal architecture that integrates textual, visual, and acoustic cues. Both quantization schemes were applied uniformly to model weights and activations during inference. Performance was measured using **classification accuracy** and **macro-F1 score**, two widely adopted metrics in affective computing due to their robustness to class imbalance [6], [17].

Table I *Performace comparison between FP8 and FP7*

Format	Accuracy (%)	Macro-F1(%)
FP8	82.82	82.63
FP7	82.77	82.54

Table 1 summarizes the results for FP7 and FP8 quantization formats. FP8 serves as the reference configuration due to its widely adopted use in efficient neural network inference. The proposed FP7 format achieves nearly identical performance, with an accuracy reduction of less than **0.05%** and an F1 score reduction of less than **0.1%**, demonstrating strong robustness to reduced mantissa precision. These results indicate that the transition from 8-bit to 7-bit floating-point representation introduces only a **negligible degradation** in classification performance. The model retains its ability to effectively capture multimodal cues and conversational dependencies despite the reduced bit width [17].

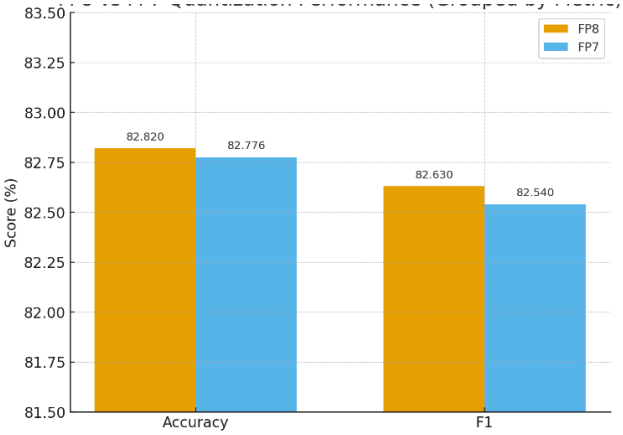


Figure 1. *FP8 vs FP7 performance*

While FP8 represents a commonly adopted low-precision format, FP7 further compresses the mantissa without altering the exponent range, thereby offering an opportunity to improve resource efficiency. FP7 achieves nearly identical accuracy and macro-F1 values compared to FP8. Figure 1 further emphasizes the stability of the model under FP7 quantization, as the visual difference between the bars is minimal. Collectively, these observations demonstrate that FP7 serves as an effective compromise between precision and computational efficiency, enabling lightweight deployment of GNN-based multimodal emotion recognition systems on embedded or mobile hardware.

The close performance between FP8 and FP7 can be explained by the fact that, in both cases, parameter values are rounded to the nearest quantization levels that differ only slightly from their original full-precision values. This behavior resembles the small incremental parameter updates that occur during training, where weights are adjusted in fine steps. As a result, the quantized model behaves as if minor additional learning has been applied, which helps preserve accuracy. Prior studies have also reported that advanced low-precision formats such as FP8 may even improve accuracy in certain cases, due to the regularizing effect introduced by quantization. Furthermore, it is generally recommended to avoid quantizing bias terms, as they contribute minimally to memory usage while being sensitive to numerical perturbations — an approach that we also adopt [8-9].

Overall, the results indicate that compressing either the entire model or only the largest layers leads to comparable performance, suggesting that fully quantizing all layers is advantageous due to the increased compression it provides. In this context, FP8 has demonstrated strong suitability for reducing the memory footprint of graph neural network models, achieving substantial compression while maintaining nearly unchanged predictive performance, while FP7 provides slightly worse classificational accuracy and F1 Score but it requires less memory and processor resources. which implicates the conclusion that FP7 is well-suited for deployment in emotional recognition applications.

4. CONCLUSION

In this work, we examined the application of low-precision floating-point formats, FP8 and FP7, for efficient multimodal emotion recognition using graph neural networks. The experimental results demonstrate that FP8 serves as a reliable low-precision baseline, offering substantial memory compression while maintaining accuracy nearly identical to full-precision representations.

A key finding of this work is that **FP7 achieves almost the same classification accuracy and F1 score as FP8**, despite using one fewer bit. This single-bit reduction provides a meaningful advantage: it further decreases memory requirements and computational load, making the format particularly suitable for resource-constrained environments. In practical terms, FP7 offers performance that is highly competitive with FP8 while delivering additional efficiency gains, positioning it as a promising candidate for lightweight on-device emotion-recognition systems and real-time inference scenarios.

Overall, the results indicate that FP7 can replace FP8 in many multimodal emotional recognition applications without notable performance loss, enabling more efficient model deployment.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of the Republic of Serbia [grant number 451-03-136/2025-03/200102], as well as by the European Union's Horizon Europe research and innovation programme through the AIDA4Edge Twinning project (grant ID 101160293).

REFERENCES

[1] Burkitt, Ian. "SOCIAL RELATIONSHIPS AND EMOTIONS." Sociology 31, no. 1 (1997): 37–55. http://www.jstor.org/stable/42855768.

[2] N. H. Frijda, "The Emotions", Cambridge University Press, 1986.

[3] C. Yang, "Emotion dependet language featuring depression", J. Behav. Therapy Exp. Psych, 81,101883, 2023.

[4] S. Mahlke, M. Minge, "Emotions and EMG measures of facial muscules in interactive contexts", Cong. Emot. 6, 169-200, 2006

[5] D. O. Hebb, "Emotion in man and animal: an analysis of intuitive processes of recognition", Psychol. Rev. 53(2), 88, 1946

[6] N. Antoniou, A. Katsamanis, T. Giannakopoulos and S. Narayanan, "Designing and Evaluating Speech Emotion Recognition Systems: A Reality Check Case Study with IEMOCAP," ICASSP 2023 - 2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Rhodes Island, Greece, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICASSP49357.2023.10096808.

[7] Z. Perić, B. Denić, M. Dinčić, S. Perić, "An Approximate Closed-Form Expression for Calculating Performance of Floating-Point Format for the Laplacian Source", Informatica, Vol. 36, No. 1, pp. 125-140, 2025. https://doi.org/10.15388/25-INFOR587

[8] N. Simic, S. Suzic, N. Milosevic, V. Stanojev, T. Nosek, B. Popovic, D. Bajovic "Enchancing emotion recognition through federated learning: a multimodal approach with convolutional neural networks", Applied Sciences. 14(4), 1325, 2024, DOI:10.3390/app14041325

[9] N. Simic, S. Suzic, T. Nosek, M. Vujovic, Z. Peric, M. Savic, V. Delic, "Speaker recognition using constrained convolutional neural networks in emotional speech", Entropy, 24(3), 2022,DOI:10.3390/e24030414

[10] A. Joshi, A. Bhat, A. Jain, A. V. Modi, "COGMEN: Contextualized GNN based multimodal emotion recognitioN",In: Proceedings of the 2022 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Seatle, USA, 4148-4164, 2022

[11] F. Liang, C. Qian, W. Yu, D. Griffith, N. Golmie, "Survey of graph neural networks and applications", Wireless Communications and mobile computing, 2022 (1), DOI:10.1155/2022/9261537

[12] B. Denić, Z. Perić, M. Dinčić, S. Perić, N. Simić, M. Anđelković, "Switched 32-Bit Fixed-Point Format for Laplacian-Distributed Data", Information 16, no.7: 574, July 2025. https://doi.org/ 10.3390/info16070574

[13] G. Muhammad, M. S. Hossain, "Emotion recognition for cognitive edge computing using deep learning", IEEE Internet Things, 8(23), 16894-16901, 2021

[14] L. Wu, P. Cui, J. Pei, L. Zhao, "Efficient neural networks for edge devices", Computer and Electrical Engieering, 92, 1-24 (2021)

[15] S. Z. Perić, Z. H. Perić, B. D. Denić, M. R. Dinčić, A. Ž. Jovanović, M. S. Anđelković, "SQNR Approximation Analysis of the FP24 Format of Laplacian Source in a Wide Variance Range", 60th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST 2025), Ohrid, North Macedonia, June 26–28, 2025.

[16] S. Perić, Z. Perić, A. Jovanović, J. Nikolić, R. Zese, O. Rhodes, A. Bizzarri, "SQNR Analysis of Power-of-Two Level Quantizer and Integer 3 Quantizer", 34th IEEE International Conference on Microelectronics(MIEL 2025), Nis, Serbia, October 13-16, 2025.

[17] T. Đurkić, N. Simić, S. Suzić, D. Bajović, Z. Perić, V. Delić, "Multimodal Emotion Recognition Using Compressed Graph Neural Networks", Speech and Computer. SPECOM 2024. Lecture Notes in Computer Science(), vol 15300. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78014-1_9

ODRŽIVI VEB DIZAJN I OPTIMIZACIJA KORISNIČKOG ISKUSTVA
SUSTAINABLE WEB DESIGN AND USER EXPERIENCE OPTIMIZATION

Ana Ćirić i Dejan Blagojević

Sadržaj – Energetski zahtevi savremnog web dizajna uslovljavaju i određenu promenu u pristupu dizajniranja i izrade istih. Ovaj rad se bavi analizom tehničke i ekološke efikasnosti web sajtova Akademije tehničko-vaspitnih strukovnih studija i njenih odseka prema principima održivog web dizajna (Green Web Design) i Sustainable Web Design modela (SWDM). Primenom Python skripte izvršeno je merenje ključnih parametara: veličine stranice, broja slika i ALT atributa, broja CSS i JS fajlova, vremena odziva servera i broja preusmerenja, uz procenu emisije CO_2 pri učitavanju stranice. Rezultati ukazuju na značajne razlike između centralnog sajta i odseka, posebno u pogledu broja fajlova, optimizacije slika i procene CO_2 emisije.

Ključne reči: Energetski efikasan web dizajn, smanjenje emisije CO_2 u IT-u, prakse zelenog kodiranja, metrike održivosti Web sajtova, arhitektura yelenog we-a, optimizovane web performanse.

Abstract – The energy requirements of modern web design necessitate certain changes in the approach to designing and developing websites. This paper analyzes the technical and environmental efficiency of the websites of the Academy of Applied Technical and Preschool Studies and its departments, based on the principles of Sustainable Web Design (Green Web Design) and the Sustainable Web Design Model (SWDM). Using a Python script, key parameters were measured, including page size, number of images and ALT attributes, number of CSS and JS files, server response time, and number of redirects, along with an estimation of CO_2 emissions generated during page loading. The results indicate significant differences between the central website and departmental websites, particularly regarding the number of files, image optimization, and estimated CO_2 emissions.

Keywords: Energy-efficient web design, reducing CO_2 emissions in IT, green coding practices, web sustainability metrics, green web architecture, optimized web performance.

1. UVOD

U kontekstu savremenih tehnoloških trendova, web sajtovi postaju sve kompleksniji, bogatiji vizuelnim sadržajima i tehnički zahtevniji. Takva kompleksnost, iako poboljšava korisničko iskustvo, istovremeno značajno povećava potrošnju energije i opterećenje serverskih resursa.

Održivi web dizajn (Green Web Design) uvodi metodologiju koja naglašava jednostavnost, efikasnost i ekološku odgovornost u izradi web stranica. Ovaj pristup obuhvata prakse kao što su optimizacija koda radi veće efikasnosti, komprimovanje slika, smanjenje količine prenetih podataka i izbor web hostinga koji koristi obnovljive izvore energije. Cilj je razviti web sajtove koji kombinuju visoke performanse, pristupačnost i ekološku održivost.

2. BITNI SEGMENTI GREEN WEB-A

Bitni segmenti **Green Web Design-a** obuhvataju skup principa i praksi koji zajedno doprinose smanjenju potrošnje energije i digitalnog karbonskog otiska web stranica. Ovaj pristup ne podrazumeva samo estetske i funkcionalne odluke, već i niz tehničkih optimizacija koje utiču na način na koji se sadržaj kreira, prenosi i koristi. Jedan od najvažnijih segmenata održivog web dizajna jeste optimizacija koda.

Ana Ćirić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: ana.ciric@akademijanis.edu.rs).

Dejan Blagojević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: dejan.blagojevic@akademijanis.edu.rs).

Korišćenje čistog, minimalnog i efikasnog koda ne samo da smanjuje veličinu fajlova, već direktno doprinosi bržem učitavanju stranica i manjoj potrošnji resursa. To podrazumeva uklanjanje suvišnih skripti, minifikaciju CSS i JavaScript fajlova, kao i smanjenje broja HTTP zahteva spajanjem više elemenata u jedinstvene fajlove. Na ovaj način, sajt troši manje energije i resursa pri svakom učitavanju [2].

Podjednako značajna je i optimizacija multimedije, budući da slike i video zapisi često čine najveći deo ukupne veličine web stranice. Primena modernih formata poput WebP ili AVIF, kompresija slika bez vidljivog gubitka kvaliteta, korišćenje SVG grafike za ikonice i ilustracije, kao i tehnike poput "lazy loading"-a, omogućavaju da se multimedijalni sadržaj učitava samo kada je zaista potreban. Time se smanjuje količina podataka koja se prenosi, što direktno utiče na manju potrošnju energije.

Dizajn usmeren na energetsku efikasnost takođe igra ključnu ulogu. Minimalistički izgled, fokus na osnovne funkcionalnosti, opcija tamnog moda za OLED ekrane i pristup "mobile-first" doprinose smanjenju opterećenja uređaja i nižoj potrošnji energije. Izbegavanje automatskog reprodukovanja multimedije i velikih animacija dodatno smanjuje opterećenje procesora i grafičke kartice na korisničkoj strani.

Održivi hosting je još jedan stub Green Web Design-a. Izbor hosting provajdera koji koristi obnovljive izvore energije ili primenjuje programe kompenzacije ugljeničnog otiska značajno smanjuje CO_2 emisije izazvane radom servera.

Dodatno, primena CDN mreža smanjuje fizičku udaljenost prenosa podataka između servera i korisnika, čime se smanjuje vreme učitavanja i energetski troškovi prenosa.

Arhitektura i struktura sajta imaju veliki uticaj na njegovu održivost. Dobro organizovan sajt sa jasnom navigacijom smanjuje broj klikova i upita ka serveru, što rezultira manjim opterećenjem infrastrukture.

Efikasno upravljanje bazama podataka, zajedno sa implementacijom caching sistema, osigurava da se ponovljeni zahtevi obrađuju brže i uz manju potrošnju energije.

Dugoročna održivost dizajna podrazumeva planiranje sadržaja i funkcionalnosti tako da sajt može duže vreme da zadrži svoju relevantnost i tehničku ispravnost, bez potrebe za čestim redizajnima i obimnim tehničkim izmenama. Kreiranje tzv. "evergreen" sadržaja, koji ostaje aktuelan duže vreme, i osiguravanje kompatibilnosti sa starijim uređajima i preglednicima, doprinosi manjoj potrebi za stalnim tehničkim intervencijama.

Na kraju, praćenje i merenje ekološkog uticaja sajta omogućava kontinuirano unapređenje. Alati poput Website Carbon Calculator-a, EcoPing-a i Google Lighthouse-a pomažu u proceni emisija CO_2 i otkrivanju mogućnosti za dodatnu optimizaciju. Redovna analiza performansi sajta i prilagođavanje tehničkih rešenja osiguravaju da on ostane energetski efikasan tokom celog svog životnog ciklusa.

Zahvaljujući ovim segmentima, Green Web Design postaje više od puke tehničke discipline – on se razvija u integrisani pristup koji kombinuje ekološku svest, estetsku jednostavnost i napredna tehnološka rešenja [6].

3. MODEL ODRŽIVOG WEB DIZAJNA

Sustainable Web Design Model (SWDM) predstavlja sveobuhvatan okvir koji integriše tehničke, organizacione i estetske aspekte web dizajna sa ciljem smanjenja energetske potrošnje, digitalnog ekološkog otiska i ukupnog opterećenja servera i mreže. Model naglašava da web sajt ne treba da bude samo funkcionalan i vizuelno privlačan, već i energetski efikasan, ekološki odgovoran i održiv na duži rok.

Ključni elementi SWDM-a obuhvataju tehničke optimizacije, koje uključuju smanjenje veličine stranica, minimizaciju CSS i JS fajlova, optimizaciju slika i kompresiju resursa.

Posebno se ističe značaj estetskog dizajna, koji omogućava jednostavnu i brzu navigaciju, čistu vizuelnu strukturu i izbegavanje nepotrebnih animacija i vizuelnih efekata.

Pored toga, važna je i organizacija sadržaja, jer efikasno upravljanje i planirano ažuriranje materijala sprečava gomilanje podataka i drži tehničko opterećenje pod kontrolom.

Sa tehničke strane, SWDM naglašava energetsku efikasnost kroz optimizaciju koda i infrastrukture, što direktno smanjuje potrošnju servera i mrežnog saobraćaja [1].

Optimizacija servera i mreže obuhvata upotrebu keširanja, CDN-a, balansiranja opterećenja i pravilnog održavanja servera radi postizanja minimalnog vremena odziva. Sve ove mere zajedno utiču na značajno smanjenje CO_2 emisije, jer svaki od prethodnih koraka direktno doprinosi smanjenju ekološkog otiska sajta.

U savremenom digitalnom okruženju primećuju se i novi trendovi u oblasti održivog web dizajna. Među njima su povećana upotreba AI alata za automatsku optimizaciju sadržaja i slika, razvoj laganih framework-a sa smanjenim zahtevima za resurse, prelazak na green hosting zasnovan na obnovljivim izvorima energije, kao i primena tamnih modova (dark mode) radi smanjenja potrošnje energije na uređajima sa OLED ekranima. Takođe, raste značaj responsivnog i pristupačnog dizajna, jer optimizovane stranice ne samo da troše manje resursa, već i obezbeđuju inkluzivnije korisničko iskustvo.

Cilj SWDM-a je da poveže tehničke odluke, estetski dizajn i organizacione prakse sa održivim principima, omogućavajući da sajt funkcioniše brzo, efikasno i sa minimalnim energetskim i ekološkim opterećenjem. Na ovaj način ne samo da se smanjuju troškovi infrastrukture, već se doprinosi i globalnoj borbi protiv klimatskih promena, dok se istovremeno povećava kvalitet korisničkog iskustva i održivost digitalnih rešenja.

4. POSTUPAK

Python skripta je implementirana prema principima Sustainable Web Design Modela (SWDM). Korišćene su biblioteke requests za preuzimanje sadržaja stranice i BeautifulSoup za parsiranje HTML-a, dok se datetime koristi za beleženje vremena analize. Kod meri ključne parametre: veličinu stranice, broj slika i ALT atributa, broj CSS i JS fajlova, vreme odziva servera i broj preusmerenja. Na osnovu veličine stranice računa se i procena emisije CO_2 pri učitavanju stranice. Rezultati se prikazuju na ekranu i čuvaju u tekstualni izveštaj, što omogućava dalju evaluaciju i poređenje više sajtova. Za potrebe ovog rada sprovedeno je testiranje sajtova Akademije tehnicko-vapsitakih strukovnih studija.

Procena CO_2 emisije u ovom kodu i analizi bazirana je na jednostavnom modelu povezanom sa veličinom stranice, koji se često koristi u praksi za preliminarno vrednovanje ekološkog otiska web stranica. Ideja je da veća veličina stranice znači više podataka koji se prenose preko mreže, što direktno utiče na potrošnju energije servera, mrežne infrastrukture i krajnjih uređaja, a time i na emisiju CO_2.

U kodu koji smo koristili, formula je sledeća:

$$\boldsymbol{CO_2(g) = Veličina\ stranice\ (kb) x 0,0002}$$

- *Veličina stranice (KB):* ukupna količina podataka koju stranica prenosi pri učitavanju (HTML, CSS, JS, slike itd.).
- *Koeficijent 0.0002 g/KB:* standardizovana referentna vrednost koja se koristi za procenu emisije CO_2 po prenesenom kilobajtu podataka. Ovaj koeficijent je preuzet iz literature o digitalnom ekološkom otisku i služi za približnu, ali konzistentnu procenu.

Ovaj pristup je jednostavan i brz, jer ne zahteva detaljne podatke o potrošnji servera ili energetskom miksu infrastrukture, ali omogućava da se lako upoređuju različite web stranice i identifikuju one sa većim potencijalnim uticajem na životnu sredinu.

5. ANALIZA REZULTATA

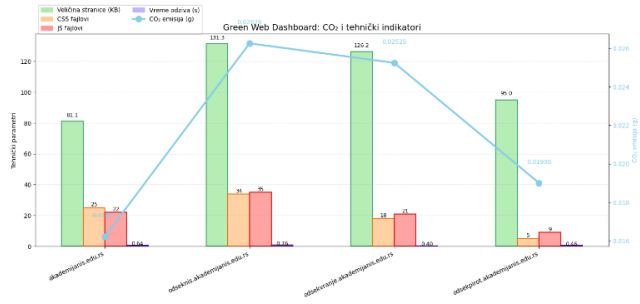
Rezultati analize četiri sajta Akademije tehničko-vaspitačkih strukovnih studija ukazuju na značajne razlike u tehničkim parametrima i procenjenom karbonskom otisku.

Glavni sajt Akademije (www.akademijanis.edu.rs) ima veličinu stranice od 81.07 KB, sa 16 slika od kojih jedna nema ALT atribut. Ovaj sajt koristi 25 CSS i 22 JS fajla, sa vremenom odziva od 0.642 sekunde i jednim preusmerenjem, dok je procena emisije CO_2 po učitavanju 0.016213 g.

Sajt Odseka Niš (www.odseknis.akademijanis.edu.rs) beleži znatno veću veličinu stranice od 131.29 KB i 32 slike, pri čemu čak 23 nemaju ALT atribut. Broj CSS fajlova iznosi 34, dok je broj JS fajlova 35. Vreme odziva je nešto sporije (0.759 sekundi), a emisija CO_2 po učitavanju procenjuje se na 0.026258 g.

Sajt Odseka Vranje (http://www.odsekvranje.akademijanis.edu.rs) ima veličinu stranice od 126.23 KB i najveći broj slika – 62, od kojih 42 nisu optimizovane ALT atributima. Ovaj sajt koristi 18 CSS i 21 JS fajl, a odlikuje ga najkraće vreme odziva od 0.396 sekundi, bez preusmerenja. Procena emisije CO_2 po učitavanju iznosi 0.025246 g.

Najmanje opterećenje beleži **sajt Odseka Pirot** (www.odsekpirot.akademijanis.edu.rs), sa veličinom stranice od 95.01 KB i svega 10 slika, od kojih dve nemaju ALT atribut. On koristi 5 CSS i 9 JS fajlova, vreme odziva je 0.462 sekunde, uz jedno preusmerenje, dok je emisija CO_2 po učitavanju 0.019002 g.



Slika 1. *Vizuelni prikaz održivosti i performansi sajtova Akademije dobijen pomoću Python koda*

6. DISKUSIJA

Rezultati analize sajtova Akademije jasno ukazuju na značajne razlike u optimizaciji, tehničkoj efikasnosti i ekološkom opterećenju između centralnog sajta i sajtova odseka.

Glavni sajt Akademije pokazuje relativno dobru optimizaciju, sa veličinom stranice od 81 KB i procenom CO_2 emisije od 0.016 g po učitavanju, što ga svrstava u okvir optimalnih vrednosti. Međutim, broj CSS i JS fajlova (25 i 22) premašuje preporučene smernice, što ukazuje na potencijal za dodatnu tehničku optimizaciju kako bi se smanjilo opterećenje servera i skratilo vreme učitavanja.

Sajt Odseka Niš beleži značajno odstupanje u gotovo svim parametrima: veličina stranice i procena CO_2 emisije su iznad optimalnih vrednosti, broj CSS i JS fajlova je najviši među analiziranim sajtovima, a veliki broj slika bez ALT atributa (23) predstavlja ozbiljan problem pristupačnosti i SEO optimizacije. Vreme odziva servera od 0.759 s prelazi granicu prihvatljivog, što ukazuje na potrebu za infrastrukturnim poboljšanjima i optimizacijom resursa.

Odsek Vranje ima specifičnu situaciju: iako je vreme odziva servera vrlo kratko (0.396 s), ukupna veličina stranice (126 KB) i veliki broj slika (62), od kojih 42 nemaju ALT atribut, dovode do povećane emisije CO_2 i smanjenog kvaliteta korisničkog iskustva. Ovi rezultati sugerišu da brzi server ne može u potpunosti kompenzovati lošu optimizaciju sadržaja i neadekvatnu organizaciju resursa.

Odsek Pirot se izdvaja kao najpribližniji optimalnim referentnim vrednostima: veličina stranice od 95 KB, minimalan broj CSS i JS fajlova (5 i 9), gotovo sve slike sa ALT atributima i umerena procena CO_2 emisije od 0.019 g ukazuju na dobar balans između funkcionalnosti, pristupačnosti i ekološke održivosti.

Analiza ovih parametara pokazuje da tehničke odluke u vezi sa brojem fajlova, veličinom stranica i optimizacijom slika direktno utiču na energetski i ekološki otisak sajta. Osim toga, implementacija ALT atributa nije samo tehničko pitanje, već doprinosi inkluzivnosti i boljoj vidljivosti sajta u pretraživačima, što dodatno naglašava važnost organizacione discipline u upravljanju digitalnim sadržajem. Ukupno gledano, odseci Niš i Vranje predstavljaju prioritet za intervencije i optimizaciju, dok glavni sajt i odsek Pirot mogu poslužiti kao modeli dobre prakse. Ovi rezultati potvrđuju da sistemska optimizacija sadržaja, redukcija broja fajlova, kompresija resursa i pravilna primena pristupačnih elemenata može značajno smanjiti CO_2 emisiju, poboljšati korisničko iskustvo i doprineti primeni principa održivog web dizajna u praksi.

Međutim ovde j potrebno istači da Istraživanje je sprovedeno na ograničenom uzorku od četiri veb-sajta iste institucije, što znači da rezultati ne mogu u potpunosti da se generalizuju na druge organizacije ili različite tehnološke platforme. Podaci su prikupljeni Python skriptom koja meri veličinu stranice, broj skripti, ALT atribute i osnovne performanse, ali analiza ne obuhvata faktore kao što su keširanje, CDN distribucija, gzip/brotli kompresija i serverske konfiguracije, koji bi u realnim uslovima mogli značajno da utiču na rezultate.

Procena CO_2 emisija zasniva se na modelima koji koriste veličinu prenetih podataka kao aproksimaciju energetske potrošnje, što ne predstavlja precizno fizičko merenje već indikativnu vrednost. Takođe, merenja su izvršena u jednom vremenskom trenutku, bez praćenja promena tokom dužeg perioda, pa kratkoročne varijacije performansi nisu obuhvaćene.

Analiza se zasniva na spoljnim merenjima bez pristupa backend konfiguracijama, serveru ili bazi podataka, što znači da određeni tehnički faktori mogli ostati neidentifikovani. Uprkos ovim ograničenjima, rezultati istraživanja pružaju pouzdanu osnovu za razumevanje postojeće strukture i održivosti analiziranih sajtova.

7. ZAKLJUČAK

Analiza web sajtova Akademije strukovnih studija Niš i njenih odseka jasno pokazuje da tehničke odluke u vezi sa veličinom stranica, brojem CSS i JS fajlova, optimizacijom multimedijalnog sadržaja, primenom ALT atributa i strukturom koda direktno utiču na energetsku efikasnost, performanse sistema i ekološki otisak digitalnih resursa. Glavni sajt akademijanis.edu.rs i odsek Pirot demonstriraju dobru praksu u balansiranju funkcionalnosti, pristupačnosti i smanjenog CO_2 otiska, dok odseci Niš i Vranje zahtevaju dodatne intervencije, uključujući optimizaciju koda, smanjenje broja fajlova, kompresiju resursa, unapređenje infrastrukture servera i poboljšanje mehanizama keširanja. Rezultati istraživanja potvrđuju da integrisani pristup održivog web dizajna — koji kombinuje tehničku, estetsku i organizacionu efikasnost — ima višestruke koristi. Ne samo da značajno smanjuje emisije gasova sa efektom staklene bašte, već doprinosi i dugoročnoj održivosti digitalnih rešenja i resursa. Primena principa green coding-a omogućava optimizaciju rada servera, smanjenje opterećenja mreže i potrošnje električne energije, što u globalnom kontekstu doprinosi smanjenju ekološkog otiska digitalnog ekosistema.

Pored ekoloških benefita, optimizacija veb-sajtova direktno poboljšava korisničko iskustvo. Brže učitavanje stranica, intuitivnija navigacija, smanjen broj nepotrebnih CSS/JS fajlova i optimizovane slike omogućavaju korisnicima jednostavnije i prijatnije interakcije sa sadržajem. Poboljšana pristupačnost čini sajtove dostupnijim široj publici, uključujući osobe sa posebnim potrebama, što dodatno osnažuje misiju akademskih institucija u pružanju inkluzivnog i funkcionalnog digitalnog okruženja.

Na taj način, održivi veb dizajn se ne posmatra samo kroz prizmu ekološke svesti, već postaje integralna UX strategija i element digitalne strategije akademske institucije. Kombinovanjem ekološke, tehničke i korisničke efikasnosti, Akademija strukovnih studija Niš i njeni odseci mogu da ostvare dugoročne benefite, unaprede digitalnu infrastrukturu i stvore održiv, pristupačan i kvalitetan online prostor za studente, nastavnike i sve zainteresovane korisnike.

LITERATURA

[1] R. Abreu, M. Couto, L. Cruz, J. Cunha, J. Fernandes, R. Pereira, A. Perez i J. Sarai-va, Green Software Lab: Towards an Engineering Discipline for Green Software, Green Software Lab, Aug. 2021.

[2] H. Acar, Software development methodology in a Green IT environment, PhD thesis, Université de Lyon, 2017.

[3] S. R. Ahmad Ibrahim, J. Yahaya i H. Sallehudin, Green Software Process Factors: A Qualitative Study, Sustainability, 14(18):11180, 2022.

[4] D. Albuquerque, A. Moreira, J. Araujo, C. Gralha, M. Goulão i I. S. Brito, A Sustainability Requirements Catalog for the Social and Technical Dimensions, u: A. Ghose, J. Horkoff, V. E. Silva Souza, J. Parsons i J. Evermann, ur., Conceptual Modeling, Cham: Springer, str. 381–394, 2021.

[5] H. Anwar, I. Fatima, D. Pfahl i U. Qamar, Tool Support for Green Android Development, u: Software Sustainability, Springer International Publishing, str. 153–182, 2021.

[6] V. Andrikopoulos, R.-D. Boza, C. Perales i P. Lago, Sustainability in Software Architecture: A Systematic Mapping Study, 2022.

[7] M. E. Angelaki, F. Bersimis, T. Karvounidis i C. Douligeris, Towards more sustainable higher education institutions: Implementing the sustainable development goals and embedding sustainability into the information and computer technology curricula, Education and Information Technologies, 2023.

[8] C. Adams, F. Irani i K. Fritsch, Estimating Digital Carbon Emissions Workshop, Green Web Foundation, 2024.

IZRAČUNAVANJE ZONE BEZBEDNOSTI OD ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA METEOROLOŠKOG RADARA AVIONA NA STAJANCI

CALCULATION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION SAFETY ZONE GENERATED BY AIRCRAFT METEOROLOGICAL RADAR STATIONED ON APRON

Nataša J. Bogdanović

Sadržaj – Rad predstavlja kvantitativnu procenu zone bezbednosti od zračenja, koju generiše meteorološki radar stacionarnog aviona postavljenog na dolazno–odlaznom peronu aerodroma, odnosno stajanci. Analitički postupak zasniva se na teoriji prostiranja elektromagnetskog polja i pridržava se međunarodnih bezbednosnih standarda za izlaganje nejonizujućem zračenju na radu. Ključni parametri radara, kao što su frekvencija, vršna impulsnu snaga, pojačanje antene i geometrija antenskog snopa, uključeni su u prostorni model, kako bi se odredio obim zone, oko aviona, unutar koje nivoi zračenja prelaze preporučene granice izloženosti osoblja koje opslužuje avion. Dat je proračun bezbednosne zone na primeru meteorološkog radara ugrađenog u avionima civilne avijacije.

Ključne reči: Meteorološki radar, Zona bezbednosti, Granice izloženosti, Daleko polje.

Abstract – Paper provides a quantitative evaluation of the radiation safety zone generated by the meteorological radar (airborne weather radar) of a stationary aircraft positioned at the airport's arrival-departure apron, or parking stand. The analysis is grounded in electromagnetic field propagation theory and adheres to international safety standards governing occupational exposure to non-ionizing radiation. The spatial model incorporated essential radar parameters, including operating frequency, peak pulse power, antenna gain, and beam geometry. These parameters are employed to determine the spatial extent of the zone surrounding the aircraft in which radiation levels exceed recommended exposure limits for ground personnel engaged in the aircraft servicing operations. The safety zone calculation is given as an example of meteorological radar embedded in civil aviation aircraft. As a representative case, the paper presents a calculated safety zone for a meteorological radar integrated into civil aviation aircraft.

Keywords*:* Meteorological Aircraft Radar, Safety zone, Exposure limits, Far field.

1. UVOD

Savremeni avionski meteorološki radari predstavljaju sofisticirane sisteme za detekciju i analizu atmosferskih pojava u realnom vremenu. Njihova primarna funkcija je da pilotima omoguće pravovremeno uočavanje padavina, turbulencija, olujnih oblaka i drugih vremenskih neprilika koje mogu uticati na bezbednost leta.

Meteorološki Dopler radar, integrisan u avion, predstavlja najsavremeniji instrument za detekciju i kvantifikaciju meteoroloških pojava u realnom vremenu [1], [2]. Važan je za bezbednost vazdušnog saobraćaja i precizno meteorološko izviđanje. Njegovo funkcionisanje je zasnovano na složenoj sinergiji mikrotalasnih tehnologija, analize spektralnih pomaka na osnovu Doplerovog efekta, naprednim metodama obrade signala i tačnoj kalibraciji antenskih i radarskih sistema u uslovima veoma složenih fizičkih okruženja.

U ovom radu, analiziraju se operativni principi meteorološkog avionskog Dopler radara, uključujući fizičke formule, proračune, arhitekturu sistema, aspekte obrade podataka i primene u meteorologiji, koji su u skladu sa savremenim vazduhoplovnim standardima i protokolima.

Nataša J. Bogdanović, Katedra za informaciono-komunikacione tehnologije, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: natasa.bogdanovic@akademijanis.edu.rs)

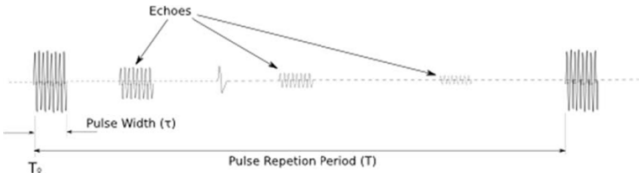
U prostorni model integrisani su ključni parametri radara: radna frekvencija, vršna impulsna snaga, pojačanje antene i geometrija antenskog snopa.

Na osnovu ovih parametara definisan je obim zone unutar koje nivoi zračenja prelaze preporučene granice izloženosti osoblja koje opslužuje avion.

2. METEOROLOŠKI AVIONSKI RADAR

RADAR je skraćenica od eng. *RAdio Detecting And Ranging*. Radio talasi se šalju kao kratki impulsi koji se mogu odbiti od objekata na njihovoj putanji, delom reflektujući se nazad do radara. Kada ovi impulsi presretnu padavine, deo energije se raspršuje nazad na radar. Ovaj koncept je sličan slušanju eha, kao što je prikazano na slici 1.

Na isti način, impuls se odbija od padavina i šalje signal nazad radaru. Na osnovu ovih informacija radar može odrediti gde se javljaju padavine i veličinu padavina.



Slika 1. *Slanje i primanje radarskog impulsa*

Arhitektura meteorološkog radarskog sistema u avionu je modularno organizovana i obično podrazumeva sledeće sklopove:

- Predajnik, generiše mikrotalasne impulse određene snage i učestanosti.
- Prijemnik, pojačava, analizira i filtrira reflektovani signal i sa mešačem i lokalnim oscilatorom prenosi ga u osnovni opseg za dalju analizu i procesiranje.
- Antenski sistem je mehanički ili elektronski upravljan. Služi za usmeravanje antenskog glavnog lista zračenja i odabrane polarizacije. Često se koristi fazirana antenska rešetka ili elektronski skenirajući antenski niz.
- Duplexer ili cirkulator je uređaj koji omogućava naizmenično emitovanje i prijem signala istom antenom.
- Digitalni podsistem za obradu signala, filtrira i odvaja ehoe od šuma, izvodi Doplerovu spektralnu analizu, filtrira statičke refleksije.
- Sistem za sakupljanje i čuvanje podataka, omogućava arhiviranje posmatranja i povezivanje sa avio-sistemima.

Savremeni meteorološki avionski radari integrišu vezane procesorske jedinice koje omogućavaju simultanu obradu višestrukih režima rada, uključujući standardno meteorološko osmatranje, detekciju turbulencije, analizu gradonosnih oblaka i vizualizaciju podataka u avionici.

Radarska antena obezbeđuje propagaciju predajnog elektromagnetnog (EM) signala u prostor i prijem reflektovanih signala od atmosferskih i fizičkih objekata. Antena radara za meteorološko osmatranje je usmerena, a prostorno skeniranje se vrši mehanički ili elektronski, prikazana je na slici 2. Tipičan dijagram zračenja antene ilustruje slika 3. U tabeli 1 su sistematizovane tehničke karakteristike, uključujući pojačanje i širinu glavnog lista zračenja za različite dimenzije antena. Savremeni avionski meteorološki radari koriste antenu u tehnologiji fazirane antenske rešetke, slika 2, koja omogućava visoko fokusirano zračenje čak i pri velikim nadmorskim visinama tokom leta [3]. Radar uzima samo uski ugao elevacije po rotaciji, a zatim sastavlja trodimenzionalnu vremensku sliku iz pojedinačnih skeniranja [4]. Ovaj proces traje višestruko duže nego kod radara za nadzor, tako da se vremenska slika može ažurirati najranije nakon 5 minuta. Brža ažuriranje nisu neophodna, jer je vremenska situacija konstantnija od trenutne pozicije aviona.

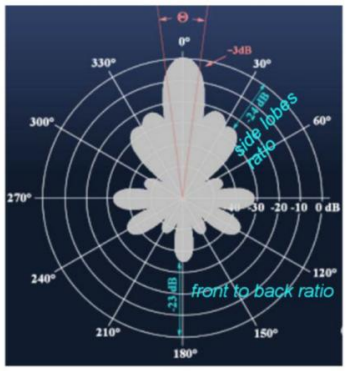
Tabela I *Tehničke karakteristike radarskih avionskih antena*

Veličina antene/inč	Širina glavnog snopa/°	Pojačanje antene/dB
14	7	28.9
18	5.2	30.5
24	4	33
28	3.6	34.5
30	3.2	35

Radarski odziv generalno dolazi u dva oblika, u vidu refleksivnosti i brzine. Refleksivnost predstavlja kvantitativnu meru inteziteta padavina u posmatranom području. Radarska brzina je mera brzine i smera kretanja padavina prema ili od radara. Većina radara može da meri refleksivnost, doj je za određivanje brzine neophodna primena Doplerovog radara, zasnovanog na analizi frekvencijskog pomaka EM talasa usled relativnog kretanja cilja [4]. Obrada Doplerovog efekta poslata je sastavni deo meteoroloških radara nakon 1990. godine.



Slika 2. *Radarska antena i MFD*



Slika 3. *Dijagram zračenja radarske antene*



Slika 4*a*. *Savremeni meteorološki radari, planarne radarske antene na Cesni*



Slika 4b. *Savremeni meteorološki radari, planarne radarske antene na Airbusu*

Praktično svi komercijalno raspoloživi savremeni meteorološki radari su opremljeni sa procesiranjem Doplerove frekvencije. Radari nove generacije, slika 2 i 4a-4b, imaju ili automatsko naginjanje antene, koje će samo postaviti antenu i prilagoditi visini na kojoj avion leti, ili automatsko skeniranje koje će konstantno skenirati i vertikalno i horizontalno po unapred definisanoj trajektoriji leta, skladištiti dobijene podatke i prikazati trodimenzionalnu sliku na ekranu.

Najbolje je korišćenje radara zajedno sa prognozom vremena, tako da se unapred poznaje meteorološka situacija na putanji leta, pa se tako zna kakve se meteorološke pojave mogu očekivati, a onda pomoću radara i izbeći. Piloti kontrolišu radar sa tri funkcije; nagib antene koji je ugao između horizonta i središta glavnog lista zračenja antene, domet i kontrola dobitka (gain) preko kojeg se menja osetljivost prijemnika.

Na svim meteorološkim radarima, a posebno na radarima nove generacije, nagib antene je jako bitan da bi se omogućila optimalna detekcija i vizualizacija vremenskih prilika na ekranu [4]. Slika na ekranu, ne predstavlja tačno prostor ispred aviona, nego prostor prema kojem je usmerena antena.

Važno je istaći da je u okviru procedura prilaska stajanci predviđeno da antena meteorološkog radara bude postavljena pod nagibom od 4^0 prema gore. Ova konfiguracija ima ključni značaj, jer obezbeđuje zaštitu radarskog sistema od potencijalno intenzivnih refleksija elektromagnetskog talasa od objekata na zemlji, čime se istovremeno minimizuje nivo zračenja usmerenog ka zemaljskom osoblju koje se nalazi na pisti aerodroma.

3. MEĐUNARODNI BEZBEDNOSNI STANDARDI

Međunarodne bezbednosne standarde i preporuke u oblasti zaštite od nejonizujućeg zračenja donosi *Internacional Commission on Non-Ionizing Protection* (ICNIRP) [5]. To je nezavisna međunarodna naučna organizacija čiji je zadatak donošenje propisa o rizicima po zdravlje usled izlaganja nejonizujućem zračenju. ICNIRP propisi su usvojeni od strane Saveta Evrope kao važeći standard za sve zemlje članice Evropske unije. U okviru ICNIRP standarda definišu se:

- osnovna ograničenja, koja moraju uvek biti poštovana;
- referentni nivoi, koji smeju biti prekoračeni ukoliko nisu prekoračena osnovna ograničenja.

Osnovna ograničenja se izražavaju u veličinama koje karakterišu fiziološke procese unutar ljudskog tela i ne mogu se direktno meriti, poput specifične jačina apsorpcije, SAR - *Specific energy absorption rate.* Nasuprot tome, referentni nivoi se definišu preko mernih veličina koje se mogu registrovati u odsustvu ljudskih bića, kao što je intenzitet električnog polja. Između 1 Hz i 100 kHz osnovna ograničenja se odnose samo na gustinu struje, u cilju zaštite od efekata na nervni sistem. Između 100 kHz i 10 MHz ograničenja se odnose i na gustinu struje i na vrednosti SAR-a.

Najveći značaj sa gledišta savremenih bežičnih sistema ima frekvencijski opseg od 10 MHz do 10 GHz. U ovom opsegu, poštuje se pre svega zahtev da porast temperature tkiva ne sme biti veći od 1°C i uzimajući u obzir bezbednosni faktor. Sve vrednosti SAR-a su usrednjene za period od bilo kojih 6 minuta tokom izloženosti. Osnovna ograničenja su sumirana u Tabeli 2 [5].

Za izloženost radio talasima na frekvencijama između 10 GHz i 300 GHz, ICNIRP propisi utvrđuju osnovna ograničenja samo gustine snage u cilju sprečavanja prekomernog zagrevanja tkiva neposredno uz površinu tela. Ova ograničenja su 50 W/m^2 za profesionalnu izloženost i 10 W/m^2 za izloženost stanovništva [5]-[6].

Tabela II *ICNIRP osnovna ograničenja za izloženost EM poljima 10 MHz do 10 GHz*

	Opšta populacija	Profesionalno osoblje
SAR usrednjen za celo telo	0,08 W/kg	0,4 W/kg
SAR usrednjen za tkivo glave ili trupa mase 10 g	2 W/kg	10 W/kg
SAR usredenjen za tkivo ekstremiteta mase 10 g	4 W/kg	20 W/kg

4. PRORAČUN ZONE BEZBEDNOSTI

Određivanje minimalne bezbedne udaljenosti od antene za osoblje u blizini operativnog avionskog meteorološkog radara prema cirkularnoj preporuci FAA AC-68B [7]. Ovaj dokument definiše preporučene mere predostrožnosti u pogledu izloženosti EM zračenju koje osoblje treba da primeni prilikom rada na avionskom meteorološkom radaru na zemlji [3].

Metodologija proračuna zasniva se sledećim koracima:

1) GRANICA BLISKO POLJE/DALEKO POLJE

Rastojanje do granice blisko polje-daleko polje se računa na sledeći način:

$$R_i = \frac{G\lambda}{8\pi} \quad (1)$$

gde je, R_i - rastojanje do granice „blisko polje - daleko polje“ od antene, λ – talasna dužina (m), G – pojačanje antene.

2) RASTOJANJE DO GRANICE SIGURNOSTI 10 mW/cm^2

Za gustinu snage dalekog polja od 10 mW/cm^2, rastojanje od antene se računa:

$$R_s = \sqrt{\mathrm{GP}/400\pi} \quad (2)$$

gde je, R_s – minimalno sigurno odstojanje [m], P – izračena prosečna snaga [W], G – pojačanje antene.

3) PROCEDURA IZRAČUNAVANJA

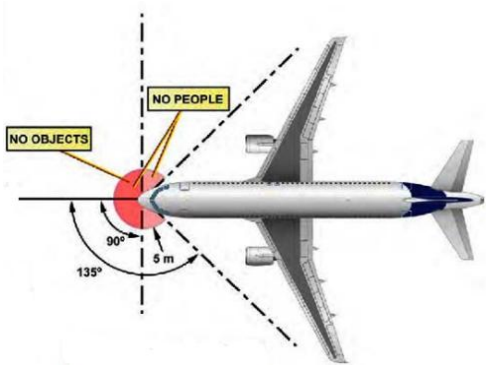
Gornje formule se koriste za određivanje minimalne bezbedne udaljenosti.

a. Odrediti rastojanje (R_i) granicu prelaska bliskog polja u daleko polje.

b. Odrediti rastojanje (R_s) do gustine snage od 10 mW/cm^2.

Ako je $R_s < R_i$, kao minimalno bezbednosno rastojanje koristiti R_i.

Ako je $R_s > R_i$, kao minimalno bezbednosno rastojanje koristiti R_s.



Slika 5. *Zaštitna zona od radara aviona na stajaci.*

5. ANALITIČKI REZULTATI

Analitički proračun bezbedne udaljenosti izvršen je za vremenski avionski radar tipa *WXR-2100 MultiScan ThreatTrack™*, firme Rockwell Collins [8]. Za potrebe proračuna iz tehničke dokumentacije [8] korišćeni su sledeći parametri:

- Input power 115 V ac ± 10%, 400 ± 20 Hz single phase Power dissipated 120 watts or less
- Transmitter PRF 180 (up to 3,000) pp/s Pulse widths 1 to 25 microseconds
- Frequency (direct 9,33 GHz digital synthesis)
- Peak power 150 watts nom
- Receiver Noise figure 3,8 dB
- Bandwidth 32 MHz
- Minimum discernible TBD signal
- Antenna First side lobe -31 dB Stabilization type Full stabilization – all modes Type Flat plate
- Beam width 10 degrees
- Gain: 34,5 dB nom

Izračunavanje:

Ulazni podaci:

Pojačanje antene: G = 34,5 dB = 2818,38

f = 9,33 GHz, λ = 0.0321 m = 3,21 cm

Trajanje impulsa: ∇t = 1 do 25 μs

Frekvencija ponavljanja impulsa: PRF 180 (do 3000) pp/s

Vršna snaga P_{peak} = 150 W

Izračunava se najgori slučaj, tj. najveća moguća srednja snaga za PRF 180 i $\nabla t = 25$ μs

Srednja snaga: $P = P_{avr} = P_{peak}$ x∇t x PRF = 150W x 25 μs x 180 s^{-1} = 0,675 W

- $R_i = \frac{G\lambda}{8\pi} = \frac{2818.38x0.0321}{8x\pi}$ = 3,6 m
- $R_s = \sqrt{GP/400\pi}$ = 1,23 m

Kako je rastojanje (R_s) određeno procedurom 3)b manje od (R_i) koje se nalazi procedurom 3)a, iskoristiće se rastojanje (R_i) kao minimalno bezbedno rastojanje. Minimalno bezbedno rastojanje je $R_{min} = R_i$ = 3.6 m.

Iz praktičnih razloga uzima se da je bezbednosno rastojanje 5 m. Zona bezbednosti u okolini aviona je prikazana na slici 5.

6. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani su osnovni tehnički i tehnološki elementi avionskog meteorološkog Dopler radara. Opisan je princip rada i način funkcionisanja. Posebna pažnja je posvećena bezbednosnom riziku kada je avion na stajanci, a radarski sistem je nenamerno aktiviran. Dati su međunarodni standardi za dozvoljeni nivo mikrotalasnog zračenja i prikazana je procedura izračunavanja bezbednog rastojanja od antene radara a prema važećim međunarodnim preporukama. Dobijene bezbednosne konture pružaju praktične smernice za pravilno pozicioniranje zemaljskog osoblja, optimizaciju rasporeda perona i strategije za ublažavanje rizika. U okviru procedura sletanja, naglašava se obaveza pilota da prilikom prilaska stajanci antenu meteorološkog radara postavi pod nagibom od 4° prema gore, čime se smanjuje refleksija od objekata na zemlji i minimizuje izloženost osoblja na pisti. Pri zaustavljanju aviona na stajanci, pilot je dužan da deaktivira radar, dok radari novije generacije poseduju funkciju automatskog isključivanja.

Bezbedno rastojanje se definiše kao dodatna mera predostrožnosti u slučaju odstupanja od propisanih procedura. Rezultati istraživanja ukazuju na značaj integrisanja radarske bezbednosne analize u operativne protokole aerodroma, posebno tokom održavanja i procedura okretanja aviona.

LITERATURA

[1] Airborne Doppler radar detection of low altitude windshear,https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19910002376/downloads/19910002376.pdf, Pristupljeno: 20.6.2025.

[2] https://an.aero/the-role-of-weather-radar-systems-in-aircraft/

[3] https://aea.net/AvionicsNews/ANArchives/May11_AirborneRadar.pdf, Pristupljeno: 20.7.2025.

[4] Radar and ILS Interference Studies in Airport Zones – Nexio Group

[5] ICNIRP Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz), Health Physics Journal, vol. 118, no. 5, 2020, pp. 483-524.

[6] EBU Tech Report TR066 – Review of ICNIRP 2020 Guidelines, European Broadcasting Union, 2021, [Online] https://tech.ebu.ch/files/live/sites/tech/files/shared/techreports/tr066.pdf

[7] AC 20-68B - Recommended Radiation Safety Precautions for Ground Operation of Airborne Weather Radar, [Online] https://www.faa.gov/regulations_policies/, Pristupljeno 20.8.2025.

[8] WXR-2100 MultiScan ThreatTrack™ weather radar, [Online] Dostupno na: https://www.collinsaerospace.com/, Pristupljeno: 20.7.2025.

BLOCKCHAIN-ENHANCED DISTRIBUTED CONTROL NETWORK: A SECURE ARCHITECTURE FOR INDUSTRIAL AUTOMATION

DISTRIBUIRANA KONTROLNA MREŽA SA BLOJČEJNOM: BEZBEDNA ARHITEKTURA ZA INDUSTRIJSKU AUTOMATIZACIJU

Zoran Milić, Srđan Jovković, Saša S. Nikolić and Zoran Jovanović

Abstract – As industrial systems become more complex, traditional Distributed Control Networks (DCNs) suffer increased cybersecurity threats, insufficient data integrity security, and limited operational transparency. Existing systems based on PLCs, SCADA platforms, and centralized databases frequently lack tamper-proof logging, decentralized trust mechanisms, and reliable control event verification. This study offers a hybrid architecture for DCNs that incorporates blockchain technology to improve data integrity, resilience, auditability, and decentralized automation logic. The system includes a PLC node for real-time control, an industrial edge gateway with a blockchain agent, and a SCADA node for visualization and historical data management. The blockchain layer (Hyperledger, Ethereum, IOTA or Polygon) provides immutable audit trails, cryptographically signed event logging and smart-contract based control logic. The paper discusses security challenges in traditional DCNs, details the proposed three-node blockchain-enhanced architecture, and defines hardware/software requirements. Expected benefits involve improved tamper detection and transparency, with a moderate increase in latency. Future research should explore latency reduction, lightweight blockchain clients, and standardized smart-contract templates for industrial automation.

Keywords: Distributed Control Network (DCN), Blockchain, Industrial Automation, SCADA, PLC, Cybersecurity.

Sadržaj – Industrijski sistemi postaju sve složeniji, što dovodi do porasta bezbednosnih izazova u tradicionalnim distribuiranim kontrolnim mrežama (DKM). Ovi sistemi se suočavaju sa povećanim rizicima u pogledu sajber bezbednosti, nedovoljnom zaštitom integriteta podataka i ograničenom transparentnošću. Rešenja zasnovana na PLC kontrolerima, SCADA platformama i centralizovanim bazama podataka često ne obezbeđuju pouzdano evidentiranje događaja, niti adekvatnu verifikaciju operacija. U ovom radu predlaže se hibridna arhitektura DKM koja integriše blokčejn tehnologiju sa ciljem unapređenja integriteta podataka, otpornosti na greške, transparentnosti. Predloženi sistem sastoji se od PLC čvora zaduženog za kontrolu u realnom vremenu, industrijskog edge gejtveja sa implementiranim blokčejn agentom i SCADA čvora namenjenog vizuelizaciji i upravljanju istorijskim podacima. Blokčejn sloj, koji može biti realizovan korišćenjem platformi kao što su Hyperledger, Ethereum, IOTA ili Polygon, omogućava nepromenljive zapise, kriptografski potpisan log događaja i primenu upravljačke logike zasnovane na pametnim ugovorima. Rad razmatra ključne bezbednosne probleme prisutne u tradicionalnim DKM, detaljno opisuje predloženu arhitekturu unapređenu primenom blokčejna i definiše hardversko-softverske zahteve za njenu realizaciju. Očekuje se da ovakav pristup doprinese poboljšanoj detekciji neovlašćenih izmena i većoj transparentnosti sistema, uz umereno povećanje latencije. Buduća istraživanja trebalo bi da budu usmerena na smanjenje latencije, razvoj laganih blokčejn klijenata i standardizaciju pametnih ugovora namenjenih industrijskoj automatizaciji.

Ključne reči: Distribuirane kontrolne mreže (DKM), Blokčejn, Industrijska automatizacija, SCADA, PLC, Sajber bezbednost.

1. INTRODUCTION

Industrial automation has undergone a significant transformation over the past several decades, driven by increasing system complexity, higher performance requirements, and the rapid expansion of Industry 4.0 technologies. Traditional centralized control systems—once the backbone of industrial operations—are progressively giving way to more flexible and resilient distributed control architectures [1]. This shift has been driven by the need for higher reliability, improved scalability, and lower operational risk. Yet, the evolution toward distributed control networks (DCNs) introduces a new set of cybersecurity challenges, particularly as industrial systems become interconnected with IoT devices, cloud platforms, and remote monitoring tools.

In conventional centralized control systems, as shown in Fig. 1, a single, powerful controller manages all processes in the system [2]. While such architectures are conceptually straightforward, they require high computational resources, increased bandwidth, and a complex communication infrastructure. More critically, they create a single point of failure: any malfunction or cyberattack on the central controller could interrupt or completely disable the entire industrial system.

On the other hand, Distributed Control Systems (DCS), shown in Fig. 2, segment control responsibilities across multiple controllers, each assigned to a specific subsystem or process. This segmentation reduces the workload of individual controllers, simplifies the architecture, and increases the

Zoran Milić i Srđan Jovković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: zoran.milic@akademijanis.edu.rs, srdjan.jovković@akademijanis.edu.rs).

Saša S. Nikolić i Zoran Jovanović, Elektronski fakultet, Katedra za Upravljanje sistemima, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 4, 18000 Niš (imejl: sasa.s.nikolic@elfak.ni.ac.rs, zoran.jovanovic@elfak.ni.ac.rs).

overall fault tolerance of the system. DCNs—digital networks that interconnect distributed controllers—offer a flexible and scalable foundation well suited for Industry 4.0 environments.

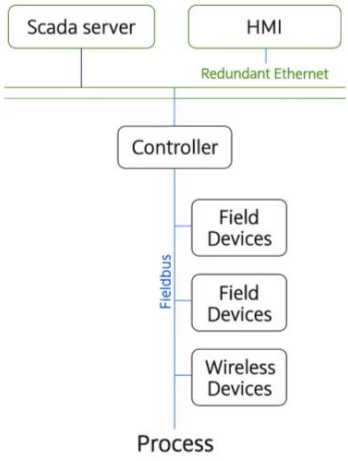


Figure 1. *Centralized control system*

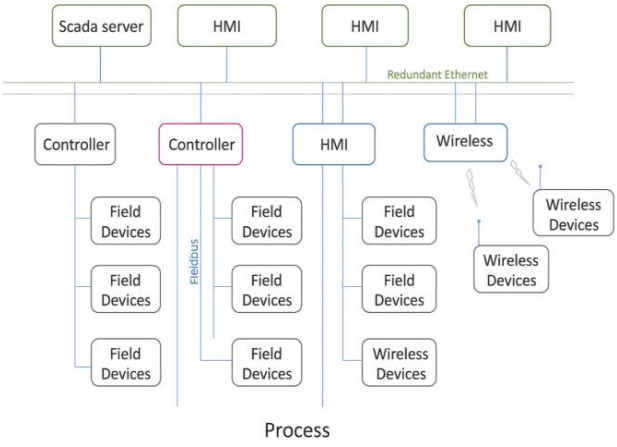


Figure 2. *Distributed control system*

2. SECURITY CHALLENGES IN TRADITIONAL DCNs

Traditional Distributed Control Networks operate with a wide mix of devices from different vendors and generations, and this diversity often becomes a security liability. As systems grow and incorporate more interconnected components, the potential entry points for attackers multiply.

Many industrial networks still rely heavily on SCADA systems and communication protocols developed before cybersecurity became a priority. These legacy technologies typically lack authentication and encryption, leaving data streams vulnerable to interception or manipulation. Weak access control policies and limited monitoring further worsen the problem, and that creates opportunities for both accidental misconfigurations and intentional misuse.

Insecure remote-access setups and outdated protocol implementations add to the list of common weaknesses. Remote connections, often configured for convenience rather than safety, can be exploited to gain unauthorized entry into critical systems. Likewise, attackers frequently take advantage of protocol flaws to inject malicious commands or disrupt operations. Numerous systems still run on protocols never designed with security in mind, which makes them particularly easy targets for modern cyberattacks.

The shift toward Industry 4.0 and IoT has only intensified security issues. The adoption of IoT devices and cloud-based solutions has made industrial systems more efficient and interconnected, but also more exposed. Adding more layers of connectivity and complexity, makes modern DCNs far more exposed than their earlier counterparts. Every additional connected device increases the attack surface. IoT sensors, wireless modules, and remote-monitoring tools frequently ship with weak security configurations or limited update mechanisms.

Finally, industrial environments often rely on numerous operators, maintenance engineers, and external service providers. Weak authentication systems, shared passwords, and insufficient monitoring allow feasible and undetectable insider attacks.

Dealing with such a complex problem in already complex systems requires the incorporation of some new methodologies and technologies such as blockchain.

3. INCORPORATING BLOCKCHAIN TECHNOLOGY INTO DISTRIBUTED CONTROL NETWORKS

Blockchain is widely recognized for its role in cryptocurrencies, but its applicability extends far beyond financial systems [3]. At its core, blockchain is a decentralized ledger shared across a network of nodes. Information stored in this ledger is grouped into blocks, cryptographically linked and time-stamped. Once added, data cannot be altered without consensus from the network, which ensures high levels of data integrity and tamper resistance.

The integration of blockchain technology into Distributed Control Networks (DCNs) has emerged as a promising way to strengthen the security and reliability of modern industrial systems (Fig. 3). As industrial environments evolve and become more interconnected, traditional security mechanisms often struggle to keep pace with new threats. Blockchain introduces a fundamentally different approach by distributing trust across multiple nodes rather than relying on a single central authority [4]. This decentralized architecture aligns well with the structure of DCNs, where control and data acquisition are already distributed across numerous devices. When blockchain components are embedded into industrial communication flows, the system adds an additional layer of protection that is resistant to tampering and unauthorized modification.

A key reason blockchain is well suited for industrial control lies in its core security characteristics. Decentralization removes the reliance on a single control server and reduces the risk associated with centralized failure points or compromised nodes [5]. Immutability ensures that once operational data—such as sensor readings or control events—is written to the ledger, it cannot be altered without network-wide consensus. This property is particularly valuable in environments where

data integrity is essential for safe operation. Additionally, traceability enables each transaction or event to be followed from origin to destination, providing a transparent and accessible audit trail. Consensus mechanisms further reinforce trust by requiring multiple nodes to validate events before they are recorded, making it significantly harder for malicious actors to falsify information.

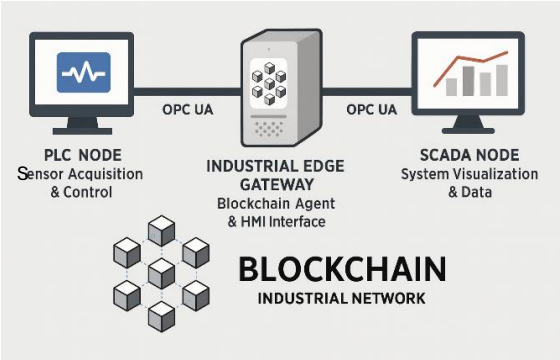


Figure 3. *Incorporating blockchain technology into DCNs*

In practical terms, incorporating blockchain into DCNs provides several tangible advantages for industrial control. One of the most impactful benefits is the creation of tamper-proof logs for sensor data, actuator commands, and operator actions. These immutable records enhance accountability across the system and make it easier to detect unauthorized changes or suspicious activity. Blockchain also helps protect against configuration manipulation, a common target in industrial cyberattacks, by securely recording version histories and changes to critical parameters. Since validation is performed across multiple nodes rather than by a single device, control information gains an additional layer of verification that reinforces the system's resilience to manipulation.

Besides the security improvement, blockchain can also enhance communication reliability within distributed industrial environments [6]. Decentralized validation reduces dependence on a single data source, mitigating risks associated with node failures or communication disruptions. This ensures that control devices can maintain synchronized and trustworthy information, which is essential for coordinating distributed processes. Collectively, these features demonstrate how blockchain can serve not merely as an add-on security tool, but as an architectural enhancement that supports safe, transparent, and robust operation of future industrial control networks.

4. AN EXAMPLE OF THREE-NODE BLOCKCHAIN-ENHANCED DCN ARCHITECTURE

In order to achieve secure control in the industrial environment, this article suggests a hybrid design that incorporates blockchain technology into DCNs. Siemens PLCs, industrial edge gateways, and SCADA visualization system are used for the idea implementation. This is shown in Fig. 4. A three-node architecture is introduced in the suggested system:

- PLC node which is in charge of sensor acquisition and real-time control,
- Windows OS-based industrial-grade edge gateway with a blockchain agent and HMI client for operator interface and PLC data exchange,
- SCADA node for HMI data exchange, interface, administration of historical data, and visualization.

The edge gateway acts as a bridge between the blockchain network and the control layer, and it facilitates safe data interchange, smart contract execution, and cryptographically signed event logging. The blockchain layer provides decentralized access control and immutable audit trails (records of all transactions that have occurred on a distributed ledger). It can be implemented using Hyperledger Fabric, IOTA, Ethereum (Geth) or Polygon.

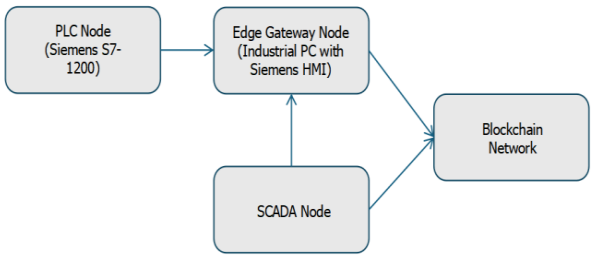


Figure 4. *Topology of suggested Blockchain-enhanced DCN*

5. HARDWARE AND SOFTWARE REQUIREMENTS

Implementing a blockchain-enhanced Distributed Control Network requires a combination of industrial-grade hardware capable of supporting real-time control, edge processing, and supervisory functions [7]. At the control layer, the PLC node can typically be represented by a Siemens S7-1500 series controller. It provides high-performance processing and integrates security features and native support for industrial communication standards such as PROFINET and OPC UA. These capabilities make it well suited for deterministic sensor acquisition and real-time control tasks. The edge gateway—often a Siemens Industrial Edge Device such as the SIMATIC IPC227G or IPC427E—can act as the bridge between operational technology and the blockchain network. Its ruggedized design, Windows-based architecture, and support for Docker containers allow it to run blockchain agents, host HMI clients, and perform edge-level analytics. Complementing these components, the SCADA node is deployed on a server-grade PC or a Siemens SIMATIC IPC547G. It can enable the storage capacity and computational resources required for system visualization, alarm management, and long-term historical data retention.

The corresponding software stack is built around standardized industrial tools and modular blockchain components working together to ensure secure and reliable operation. Siemens TIA Portal serves as the central environment for programming and maintaining PLC logic, enabling seamless integration with HMI and SCADA systems. On the edge gateway, the blockchain agent—implemented using frameworks such as Hyperledger Fabric or a private Ethereum network—runs inside a lightweight Docker container and handles transaction verification, smart contract

execution, and data-integrity functions. Human–machine interface tasks are managed through WinCC Unified or WinCC Advanced, which provide real-time visualization and operate either on the edge device or the SCADA node. The SCADA layer itself, typically realized through SIMATIC WinCC Professional or Unified, offers centralized monitoring, historical data logging, and flexible communication via OPC UA or MQTT. Secure data exchange across all layers is enabled by OPC UA with TLS/SSL encryption, ensuring that information transmitted between PLCs, the edge gateway, and the SCADA system remains protected against interception or tampering.

In order to truly understand the benefits and drawbacks of this architecture, this system should be compared to a traditional system that doesn't use blockchain. Key factors which should be observed in comparison are latency, data integrity, audit-ability and operational overhead in the system. The expectation is that adding blockchain should bring an increase in latency, but it should also boost data resilience, help detect tampering, and automate compliance. Smart contracts should make it possible to enforce rules transparently, and without the need for centralized SCADA scripting. The system should allow for every event to be logged securely on the blockchain, and smart contracts should implement control without using SCADA scripting. This should enable SCADA node to provide a view of real-time data alongside blockchain-verified logs, allowing operators and auditors to access reliable data without the hassle of manual checks.

6. CONCLUSION

Integrating blockchain with distributed control networks enhances security, auditability, and trust in industrial automation systems. The proposed three-node architecture demonstrates a practical path to implementing blockchain-verified control logic that maintains compatibility with standard PLC/SCADA environments.

Future research efforts should prioritize several key areas. These involve latency mitigation through the deployment of lightweight blockchain protocols, developing of edge-native blockchain clients specifically designed for resource-constrained operational settings, establishing standardized templates for industrial smart contracts, and rigorously evaluating real-world performance indicators like data integrity, auditability, operational overhead, and latency

REFERENCES

[1] G. Tripathi, M. A. Ahad and G. Casalino, "A comprehensive review of blockchain technology: Underlying principles and historical background with future challenges," Computer Science Review, vol. 40, pp. 1–29, 2021.

[2] A. Đorđević and Z. Jovanović, "Current trends and challenges in distributed control systems – An overview," Facta Universitatis, Series: Automatic Control and Robotics, vol. 20, no. 1, pp. 63–78, 2021.

[3] A. Banafa, Blockchain technology and applications, River Publishers; 2022.

[4] A. Enaya, X. Fernando and R. Kashef, "Survey of blockchain-based applications for IoT," Sensors, vol. 22, no. 19, pp. 1–31, 2022.

[5] M. Essaid and H. Ju, "Blockchain solutions for enhancing security and privacy in Industrial IoT," Applied Sciences, vol. 12, no. 3, pp. 1–18, 2022.

[6] K. N. Hande and M. B. Chandak, "Optimizing warehouse management system with blockchain and machine learning predictive data analytics," in Proc. IEEE Int. Conf. on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS), Greater Noida, India, 2021, pp. 471–476.

[7] S. Chakraborty and D. Chakraborty, "Smart industry meets smart ledger: The role of blockchain in industrial automation," Journal of Industrial Information Integration, vol. 32, pp. 1–14, 2023.

OZNAČAVANJE AI-GENERISANOG MULTIMEDIJALNOG SADRŽAJA VODENIM ŽIGOM

WATERMARKING OF AI-GENERATED MULTIMEDIA CONTENT

Marko Veličković i Zoran Veličković

Sadržaj – Da bi se sprečila zloupotreba AI-generisanog multimedijalnog sadržaja, u ovom radu je predloženo njegovo označavanje insertovanjem nevidljivog vodenog AI-žiga. Prema predloženom konceptu, označavanje multimedijalnog AI-sadržaja obavlja sama AI-kompanije koja ga je i generisala. U radu se za insertovanje i ekstrakciju AI-žiga preporučuje originalni algoritam koji ima niz dobrih osobina. Primenom preporučenog algoritma za insretovanje vodenog AI-žiga se ne izazivaju vidljive degradacije multimedijalnog sadržaja, dok se istovremeno omogućava pouzdana ekstrakcija vodenog AI-žiga iz samog multimedijalnog AI-sadržaja. Ekstahovanjem vodenog AI-žiga potvrđuje se da je multimedijalni sadržaj generisan AI-tehnologijama i ova činjenica se dostavlja korisniku kako bi se sprečila njegova obmana. Rezultati dobijeni u eksperimentalnom delu rada potvrđuju prednosti koje donosi korišćenje predloženog algoritma.

Ključne reči: Multimedijalni AI-sadržaj, vodeni AI-žig, algoritam ekstrakcije, algoritam insertovanja, označavanje AI-sadržaja.

Abstract – In order to prevent the misuse of AI-generated multimedia content, this paper suggests marking it by inserting an invisible AI watermark. Marking of multimedia AI content is performed by the AI company that generated it. The paper recommends an original algorithm that has several good features for insertion and extraction of AI-mark. Applying the recommended AI-watermark embedding algorithm does not cause visible degradation of the multimedia content, while at the same time it enables the reliable extraction of the AI-watermark from the AI-multimedia content itself. By extracting the AI-watermark, it is confirmed that the multimedia content is generated by AI-technologies and this fact is delivered to the user to prevent his deception. The results obtained in the experimental part of the work confirm the advantages of using the proposed algorithm.

Keywords: Multimedia AI-Content, AI-Watermark, Extraction Algorithm, Insertion Algorithm, AI-Content Tagging.

1. UVOD

Savremene mrežne aplikacije omogućavaju korisnicima efikasan i jednostavan pristup svim vrstama multimedijalnih sadržaja. Sam multimedijalni sadržaj je obično dobrog kvaliteta i ne izaziva sumnju u njegovo poreklo i autentičnost [1]. Tehnologije zasnovane na mašinskom učenju i generativnoj veštačkoj inteligenciji omogućavaju kreiranje realističnih multimedijalnih sadržaja koje korisnik ne može prepoznati kao lažne [2], [3]. Nekritičko korišćenje multimedijalnih sadržaja u savremenim multimedijalnim aplikacijama može predstavljati ozbiljan bezbednosni rizik [4]. Lažni multimedijalni AI (engl. *Artificial Intelligence*) sadržaji mogu prouzrokovati zamenu identiteta osobe i širenje kompromitujućih sadržaja, čime se narušava privatnost i bezbednost pojedinaca. Pored kompromitovanja pojedinaca, lažni multimedijalni AI-sadržaji mogu se koristiti za manipulisanje javnim mnjenjem i usmeravanjem društvenih tokova. Još uvek neuspostavljena etička i pravna regulativa za korišćenja generativne AI-tehnologije omogućava njenu zloupotrebu i nanošenje štete bilo pojedincu bilo čitavoj društvenoj zajednici [5] - [7]. Mnoge AI-kompanije omogućavaju korišćenje generativnog AI a čime potencijalno zlonamernim korisnicima omogućavaju dovođenja korisnika u zabludu i obavljanje prevarnih radnji [5]. Evidentna je potreba da se jasno i nedvosmisleno označi multimedijalni sadržaj koji je nastao kao proizvod generativnog AI-a [6]. AI-kompanije su svesne ove činjenice i na razne načine pokušavaju da reše ovaj problem. Predložene tehnologije moraju da obezbede pouzdano identifikovanje generativnog AI-sadržaja kao i njihovu otpornost na pokušaje uklanjanja [7]. Sa druge strane, provera da li se radi o generativnom AI-sadržaju mora biti pouzdana i jednostavna. Kod multi-medijalnih sadržaja je od izuzetne važnosti da predložene tehnologije označavanja AI-generisanog sadržaja ne izazivaju primetnu degradaciju samog sadržaja. Primenjene tehnologije provere na AI-generisani sadržaj treba da budu javno dostupne tako da ih mogu koristiti kako administratori tako i posetioci Web-stranica. Odgovornost administratora Web-stranica se po ovom pitanju povećava, sa obzirom na to da generativne AI-sadržaje treba jasno označiti kako ne bi dovodili posetioce u zabludu [6].

U ovom radu se za potrebe označavanje AI-generisanog multimedijalnog sadržaja predlaže insertovanje nevidljivog vodenog žiga u sam sadržaj. U nastavku rada, insertovani vodeni žig za označavanje AI sadržaja se naziva AI-žigom. Insertovanje AI-žiga obavlja AI-kompanija kao oznaku (potvrdu) da je multimedijalni sadržaj generisan korišćenjem generativne veštačke inteligencije.

Algoritmi insertovanja vodenog žiga mogu biti različiti i nalaze se u vlasništvu AI-kompanije. Uspešnom ekstrakcijom insertovanog AI-žiga dokazuje se generativni AI-sadržaj. U Web-varijanti implementacije, korisnik pozivom Web-servisa

Marko Veličković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: marko.velickovic@akademijanis.edu.rs).

Zoran Veličković, Inžnjerska akademija Srbije, Kneza Miloša 9/IV, 11000 Beograd (imejl: zoran.velivkovic@akademijanis.edu.rs).

dobija informaciju o tome da li je testirani multimedijalni sadržaj AI-generisan ili ne. Na ovaj način korisnik ne mora da poznaje algoritme ekstrakcije već samo uz zahtev dostavlja multimedijalni sadržaj koji se proverava [4]. U samostalnoj (engl. *stand alone*) varijanti implementacije softver za proveru se instalira na korisnikov računar.

Karakteristike predložene tehnologije zadovoljavaju sve glavne zahteve osim možda njene kompleksnosti. U radu je predloženo da se provera na AI-generisani sadržaj obavlja pozivom odgovarajućeg Web-servisa koji se može postaviti na oblaku. Na ovaj način se potencijalno zahtevni procesorski i memorijski resursi mogu iznajmiti po potrebi i obezbediti jednostavnu skalabilnost bez opterećenja korisničkog računara.

2. OZNAČAVANJE MULTIMEDIJALNOG AI-SADRŽAJA

U cilju sprečavanja obmanjivanja korisnika AI-sadržajem, društveno odgovorne kompanije obeležavaju sadržaje generisane veštačkom inteligencijom. U primeni su algoritmi obeležavanja AI-sadržaja koji se mogu svrstati u dve velike grupe, vidljivi i nevidljivi za korisniku.

- *Vidljivo obeležavanje AI-sadržaja*
  i. Multimedijalni sadržaj se označava tekstualnim oznakama "*AI-generated*" ili "*Created with AI*" koji su vidljivi prilikom reprodukcije multimedijalnih sadržaja.
  ii. Multimedijalni sadržaj se označava zapisivanjem meta podataka u samom zaglavlju kodiranog multimedijalnog sadržaja. Meta podaci mogu sadržavati različite informacije koje se odnose na tip foto aparata, korišćeni objektiv, parametre snimanja, datum i vreme kao i GPS koordinate mesta nastanka. Takođe, meta podaci se mogu odnositi na informacije o načinu generisanja sadržaja, korišćenom AI-softveru i autoru koji je kreirao sadržaj. Tako se za slike koristi tzv. EXIF (engl. *Exchangeable Image File Format*) format kojim se definiše način zapisa meta podataka u digitalne multimedijalne sadržaje. Iako su meta podaci veoma korisni u analizi slike, oni predstavljaju bezbednosni rizik jer su lako dostupni i moguće ih je jednostavno izmeniti ili ukloniti.
- *Nevidljivo obeležavanje AI-sadržaja*
  i. Multimedijalni sadržaj se označava insertovanjem nevidljivih slika u sam multimedijalni sadržaj. Insertovane slike su nevidljive za korisnika ali se specifičnim softverom mogu prepoznati.
  ii. Skrivanje podataka u samom multimedijalnom sadržaju bez uticaja na kvalitet, zasnovano na steganografiji.
  iii. Algoritmi označavanja bazirani na sažetku multimedijalnog sadržaja, nazivaju se HEŠ identifikatori. Primer heš identifikatora je C2PA (engl. *Coalition for Content Provenance and Authenticity*) tehnologija zasnovana na infrastrukturi javnog ključa PKI (engl. *Public Key Infrastructure*). Kod ove tehnologije kreira se C2PA manifest koji digitalno potpisuje AI-kompanija. Ovako dobijeni manifest se ugrađuje u zaglavlje slike. Na raspolaganju su onlajn validatori koji čitaju C2PA manifest i porede ga sa pristiglim multimedijalnim sadržajem.

U tabeli I, prikazane su osnovne karakteristike prikazanih tehnologija za označavanje AI-generisanog sadržaja. U prvoj koloni su prikazana imena tehnologija, dok su u narednim kolonama date karakteristike direktne vidljivosti u multimedijalnom sadržaju, otpornosti na pokušaje uklanjanja i standardi (tehnologije) koje se primenjuju.

Tabela I *Karakteristike tehnologija za označavanje AI-generisanog sadržaja*

Tehnologija	Vidljivost	Otpornost	Standardi
EXIF meta podaci	*u zaglavlju*	*slaba*	*JPEG EXIF, TIFF*
C2PA manifest	*u spec. alatu*	*jaka*	*C2PA*
Vodeni žig	*nevidljiv*	*jaka*	*Google SynthID*
Steganografija	*nevidljiv*	*jaka*	*LSB, Wavelet, ...*

3. ALGORITAM ISERTOVANJA/EKSTRAKCIJE BINARNOG VODENOG ŽIGA ZASNOVANOG NA BLOKOVSKOJ SVD TRANSFORMACIJI

U ovom radu su razvijeni algoritmi insertovanja i ekstrakcije binarnog vodenog AI-žiga u sliku u boji. Takođe, osmišljen je i odgovarajući ekosistem baziran na vodenom AI-žigu. Insertovanje vodenog žiga je zasnovano na blokovskoj SVD dekompoziciji kolor komponente AI-generisane (noseće) slike. SVD koeficijenti kolor komponente AI-generisane slike Cb se modulišu u funkciji vrednosti odgovarajućeg bita binarnog vodenog žiga. U ovom radu vodeni žig predstavlja binarnu sliku odgovarajuće dimenzije. Inverznim postupkom se obavlja ekstrakcija insertovanih bitova od kojih se komponuje vodeni žig. Algoritam insertovanja i ekstrakcije je prikazan u više **I** i **E** koraka respektivno [2].

Korak $\mathbf{I}_1$: Izvršiti transformaciju noseće slike A iz RGB u YCrCb model boja:

$$\boldsymbol{YCbCr} = rgb2ycbcr(\boldsymbol{A}). \quad (1)$$

Korak $\mathbf{I}_2$: Komponentu boje slike **Cr** iz YCrCb modela podeliti na neprekloplјene blokove $\mathbf{H}_{i,j}$ dimenzije 4×4 piksela.

Korak $\mathbf{I}_3$: Za svaki blok $\mathbf{H}_{i,j}$ (dimenzije 4×4 piksela) iz **Cr** komponente izvršiti SVD dekompoziciju:

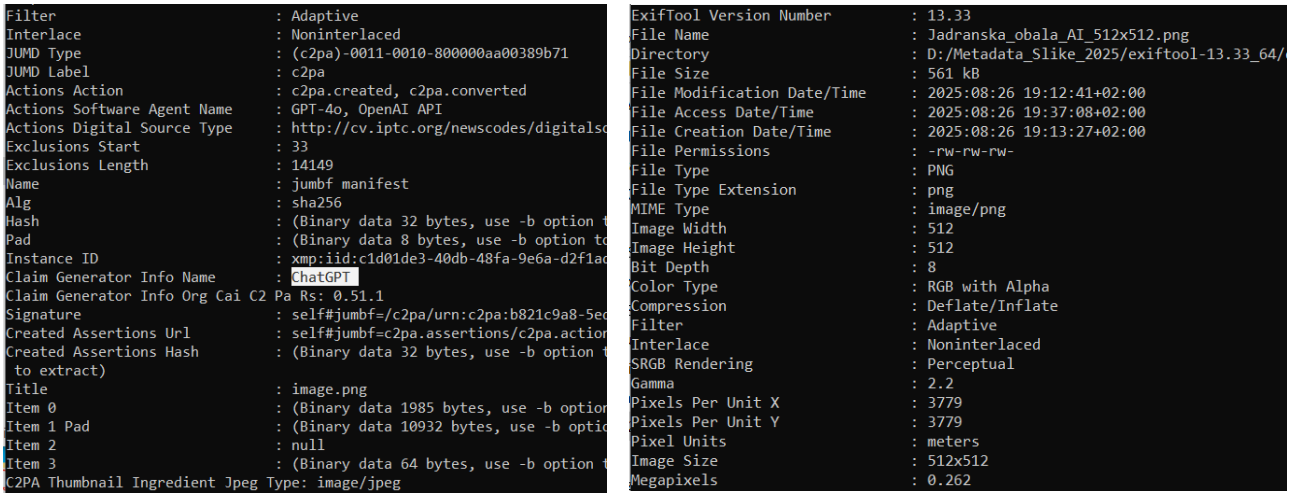
$$\boldsymbol{H}_{i,j} = \boldsymbol{U}_{i,j} \times \boldsymbol{S}_{i,j} \times \boldsymbol{V}_{i,j}^{T}. \quad (2)$$

Korak $\mathbf{I}_4$: Modifikovati elemente iz druge i treće vrste prve kolone svake $\mathbf{U}_{i,j}$ unitarne matrice (elementi $u_{2,1}$ i $u_{3,1}$) na osnovu vrednosti svakog pojedinačnog bita w iz vodenog žiga:

$$ako\ je\ w = 1, \begin{cases} u_{2,1}^{*} = sign(u_{2,1}) \times \left(U_{avg} + \frac{T}{2}\right) \\ u_{3,1}^{*} = sign(u_{3,1}) \times \left(U_{avg} - \frac{T}{2}\right) \end{cases} \quad (3)$$

$$ako\ je\ w = 0, \begin{cases} u_{2,1}^{*} = sign(u_{2,1}) \times \left(U_{avg} - \frac{T}{2}\right) \\ u_{3,1}^{*} = sign(u_{3,1}) \times \left(U_{avg} + \frac{T}{2}\right) \end{cases} \quad (4)$$

$$U_{avg} = \frac{(|u_{2,1}| + |u_{3,1}|)}{2} \quad (5)$$



a) b)

Slika 1. *Provera originalnosti slike „Jadranska_obala_AI.png“ aplikacijom **ExifTool***
a) pronađeni su meta podaci o poreklu – slika je nastala primenom ChatGPT-a,
b) nisu pronađeni meta podaci o poreklu slike jer su prethodno uklonjeni.

gde je T diferencijalni prag i predstavlja parametar algoritma kojim se određuje jačina insertovanja. Izmenjena unitarna marica je označena sa $\mathbf{U}^*_{i,j}$.

Korak $\mathbf{I}_5$: Obaviti inverznu SVD transformaciju svakog $\mathbf{H}_{i,j}$ bloka sa izmenjenom unitarnom matricom $\mathbf{U}^*_{i,j}$ da bi se dobio blok sa utisnutim bitom iz vodenog žiga.

$$\boldsymbol{H}^*_{i,j} = \boldsymbol{U}^*_{i,j} \times \boldsymbol{S}_{i,j} \times \boldsymbol{V}^T_{i,j} \tag{6}$$

Korak $\mathbf{I}_6$: Postaviti blok sa insertovanim bitom vodenog žiga na odgovarajuće mesto u zaštićenoj nosećoj slici. Ponoviti korake $\mathbf{I}_4$ i $\mathbf{I}_5$ za sve bitove iz vodenog žiga.

$$\boldsymbol{RGB}^* = ycbcr2rgb(\boldsymbol{A}^*) \tag{7}$$

Na ovaj način se obavlja insertovanje svih bitova iz vodenog žiga u noseću sliku. Za ekstrakciju ovako insertovanog vodenog žiga *nije* potrebno posedovati originale ni slike ni vodenog žiga, tako da ovaj algoritam pripada klasi BLIND algoritama.

Algoritam za ekstrakciju vodenog žiga iz zaštićene slike je prikazan nizom **E** koraka.

Korak $\mathbf{E}_1$: Izvršiti transformaciju zaštićene noseće slike A' iz RGB u YCrCb model boja:

$$\boldsymbol{YCbCr} = rgb2ycbcr(\boldsymbol{A}'). \tag{8}$$

Korak $\mathbf{E}_2$: **Cb** komponentu zaštićene fotografije podeliti na neprekloplјene blokove $\mathbf{H}'_{i,j}$ dimenzije 4×4 piksela.

Korak $\mathbf{E}_3$: Obaviti SVD dekompoziciju nad svim blokova $\mathbf{H}'_{i,j}$ noseće fotografije:

$$\boldsymbol{H}'_{i,j} = \boldsymbol{U}'_{i,j} \times \boldsymbol{S}'_{i,j} \times \boldsymbol{V}'^T_{i,j}. \tag{9}$$

Korak $\mathbf{E}_4$: Vrednost odgovarajućeg ekstrahovanog bita vodenog žiga w' se dobija primenom sledećih izraza:

$$w' = 1, \begin{cases} 0, & if\ u'_{2,1} > u'_{3,1} \\ 1, & if\ u'_{2,1} \le u'_{3,1} \end{cases}. \tag{10}$$

Korak $\mathbf{E}_5$: Postaviti vrednost ekstrahovanog bita na odgovarajuću lokaciju u vodenom žigu.

Korak $\mathbf{E}_6$: Ponoviti korake $\mathbf{E}_4$ i $\mathbf{E}_5$ za sve blokove zaštićene noseće slike i formirati kompletnu binarnu sliku vodenog žiga.

4. EVALUACIJA PREDLOŽENOG ALGORITMA

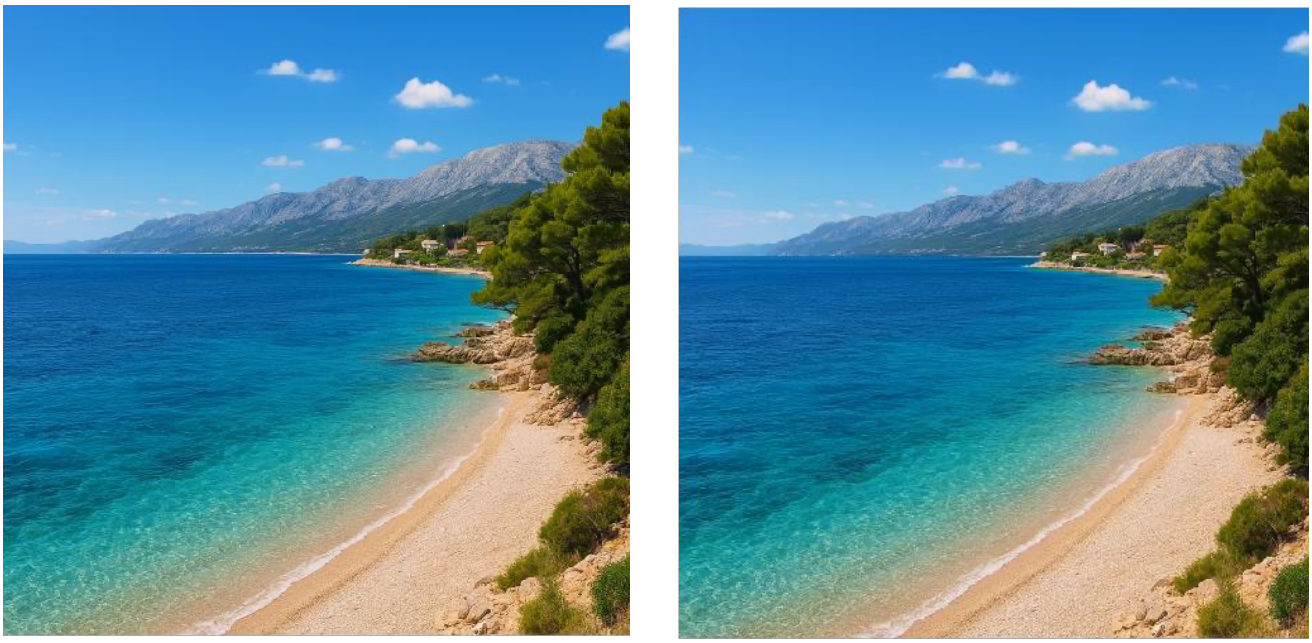
Evaluacija algoritma prikazanog je obavljena u simulacionom okruženju Matlab-a. U ovom radu je korišćena generativna AI-slika kao noseća, nastala korišćenjem ChatGPT-a. Izgled generativne AI-slike je prikazan na slici 2a. Sam ChatGPT je ugradio meta podatke kojima je označio da je slika generisana AI-em. Koristeći programski paket *ExifTool* može se ostvariti uvid u meta podatke koji su uvrštеni u kod slike. Na slici 1a prikazan je deo izveštaja koji je generisao ovaj programski paket. Iz izveštaja se može zaključiti koji je softverski agent korišćen za generisanje slike kao i niz tehničkih informacije o samoj slici. Zbog dužine izveštaja koji se proteže na više od jedne stranice, prikazan je samo deo značajan za našu temu. Iako je ovo vrlo jednostavna tehnika za utvrđivanje porekla slike, veoma je nepouzdana i veoma ranjiva. Da stvar bude još gora, sam ChatGPT može ukloniti meta podatke iz AI-slike na Vaš zahtev. Na slici 1b prikazan je izveštaj programskog paketa *ExifTool* kada je zatraženo da se uklone meta podaci o poreklu slike. Iz ovog jednostavnog primera se vidi da je ovaj način označavanja AI-slike veoma ranjiv i samim tim nepouzdan.

Kao AI-žig u ovom radu je kreirana binarna slika prikazana na slici 3a. Iskorišćen je adaptirani logo kompanije *OpenAI* koja je i kreirala *ChatGPT*.

Na slici 2b prikazana je AI-slika u koju je insertovan AI-žig sa slike 3a. Insertovanje i ekstrakcija AI-žiga se obavlja algoritmom prikazanom u sekciji 3. Subjektivna ocena kvaliteta zaštićene i originalne slike se može ostvariti poređenjem slika sa slike 2. Za objektivno poređenje slika se koriste metode kao što su PSNR, MSE, NCC, SSIM i slično.

U prethodnim radovima je pokazana kvalitet predloženog algoritma u realnim uslovima eksploatacije.

Prema predloženom konceptu, ako se AI-logo ne može ekstrahovati iz slike, verovatno se radi o prirodnoj slici.



a) b)

Slika 2. *ChatGPT AI-generisana slika „Jadranska_obala_AI.png“*
a) sa uklonjenim meta podacima o poreklu
b) označena AI-slika sa insertovanim AI-žigom.

Da bi predloženi algoritam mogao da zadovolji stroge uslove primene, AI-žig mora preživeti željene i neželjene manipulacije nad slikom kako bi se mogao i posle toga ekstrahovati iz slike. Za klijentske sisteme sa ograničenim resursima, može se realizovati provera originalnosti ovim algoritmom korišćenjem Web API-a. Za sisteme koji poseduju dovoljno procesorskih i memorijskih resursa može se realizovati „on-site“ verzija.

Na slici 3b je prikazan ekstrahovani AI-žig iz označene slike 2b koji se u potpunosti podudara sa originalom - slika 2a. Na slici 3c prikazan je ekstrahovani vodeni žig iz slike 2a (zapravo ne postoji) koji se očito razlikuje od originala. Zaključujemo da slika nema oznaku AI porekla.



a) b) c)

Slika 3. *a) Originalni vodeni žig čijim se insertovanjem u AI-generisanu sliku označava njeno poreklo,*
b) ekstrahovani vodeni žig iz označene AI-slike 2b
c) ekstrahovani vodeni žig iz neoznačene AI-slike 2a.

5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazan algoritam označavanja AI-generisane slike nevidljivim vodenim žigom. U eksperimentalnom delu je pokazana primena predloženog algoritma u simulacionom okruženju Matlab-a. Dobijeni rezultati potvrđuju kvalitet predloženog algoritma i njegovu primenu u označavanju AI generisanih multimedijalnih sadržaja. U nastavku istraživanja biće ispitana otpornost predloženog algoritma na pokušaje uklanjanja vodenog žiga.

LITERATURA

[1] Z. Veličković, Z. Milivojević, M. Veličković, “The Performance Evaluation of GMSAT Video Watermarking against Geometric Attacks”, ICEST (2017), Niš, JUN (2017).

[2] Z. Veličković, Z. Milivojević, D. Blagojević, M. Veličković “Personalna biometrijska identifikacija zasnovana na skremblovanom vodenom žigu”, INFOFEST 2017, Budva, 2017.

[3] M. Veličković, „Zaštita autorskih prava primenom nevidljivog vodenog žiga kod video sekvence korigovane γ-transformacijom“, Završni master rad, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš, 2019.

[4] Z. Veličković, M. Veličković, Z. Milivojević, B. Prlinčević, “Performance Analysis of Binary Watermarking Algorithm Against Geometric Attacks”, INFOTEH, Jahorina, 2024.

[5] A. I. Agundbiade, „Generating Images in ChatGPT“, https://www.researchgate.net/publication/389998040,. DOI:10.13140/RG.2.2.24121.07522, 2025.

[6] A. Yadav, An Analysis on the Use of Image Design with Generative AI Technologies, Conference: International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD), Volume: 8, https://www.researchgate.net/publication/378291870_An_Analysis_on_the_Use_of_Image_Design_with_Generative_AI_Technologies, February. 2024.

[7] D. G. Takale, P. N Mahalle, B. Sule“, Exploring Watermarking Techniques in Generative AI: A Brief Overview”, Journal of Image Processing and Artificial Intelligence 10(3):1-5, July.2024.

KARAKTERISTIKE SILAZNOG LINKA NOMA SISTEMA U SLUČAJU UPARIVANJA KORISNIKA PRIMENOM DUBOKOG HIBRIDNOG MODELA

PERFORMANCE EVALUATION OF DOWNLINK NOMA SYSTEM WITH DEEP HYBRID USER PAIRING

Nikola Sekulović i Aleksandra Panajotović

Sadržaj – Ovaj rad istražuje silazne deonice sistema sa neortogonalnim višestrukim pristupom (NOMA) u kompozitnom bežičnom okruženju koje karakteriše prisustvo fedinga i efekta senke modelovano α-$\mathcal{F}$ raspodelom. Kako bi se rešio problem koji se odnosi na uparivanje korisnika sa uporedivim pojačanjima kanala unutar NOMA sistema, predložena je tzv. duboka hibridna strategija uparivanja. Koeficijenti raspodele snage za uparene korisnike se određuju tako da se obezbedi maksimalna ukupna brzina prenosa podataka sistema uz ravnopravno tretiranje korisnika. Rezultati simulacije u različitim sredinama i scenarijima potvrđuju opravdanost primene predloženog dubokog hibridnog algoritma za uparivanje korisnika.

Ključne reči: Kompozitni feding kanali, silazna deonica, neortogonalni višestruki pristup, ukupna brzina prenosa podataka.

Abstract – This paper investigates downlink non-orthogonal multiple access (NOMA) systems operating over composite wireless channels with simultaneous fading and shadowing, modeled using the α-$\mathcal{F}$ distribution. A deep hybrid user pairing strategy is proposed to address the challenge of pairing users with comparable channel gains within NOMA clusters. The power allocation coefficients for paired users are determined through an optimization framework that maximizes the aggregate system data rate while ensuring user fairness. Simulation results in different environments and scenarios validate the effectiveness of the proposed deep hybrid user pairing algorithm.

Keywords: – Composite fading channels, downlink communication, non-orthogonal multiple access, sum data rate.

1. UVOD

Tehnika neortogonalnog višestrukog pristupa (*non-orthogonal multiple access* - NOMA) prepoznata je kao pogodna tehnika za rešavanje izazova u pogledu spektralne i energetske efikasnosti, brzine prenosa podataka, pravedne alokacija resursa između korisnika, kašnjenja i masovne povezanosti uređaja [1]. Pomenuti izazovi su svojstveni za napredne generacije bežičnih komunikacionih mreža, uključujući 5G i 6G tehnologije. Takođe, pomenutu tehniku favorizuje i činjenica da je NOMA sistem kompatibilan sa postojećim mrežama, tj. da ne iziskuje značajne modifikacije na već postojećoj mrežnoj infrastrukturi.

Za razliku od tradicionalnog OMA (*orthogonal multiple access*) koncepta, u kome se korisnici razdvajaju dodelom različitih vremenskih, frekvencijskih ili kodnih resursa kako bi se izbeglo njihovo preklapanje i minimizirala interferencija, NOMA omogućava da više korisnika istovremeno koriste iste resurse putem multipleksiranja po snazi. Dve ključne tehnike koje omogućavaju da korisnici mogu istovremeno koristiti neortogonalne resurse su superpoziciono kodovanja i uzastopno poništavanje interferencije (*successive interference cancellation* - SIC) [2].

Superpoziciono kodovanje se primenjuje na strani predajnika i podrazumeva superpoziciju signala nekoliko korisnika na osnovu različitih nivoa snaga. SIC je tehnika koja se koristi na strani prijemnika da poništi interferencije i izdvoji koristan signal.

Veoma je važno efikasno rešiti probleme uparivanja korisnika i distribucije snage jer od toga zavisi ukupni dobitak koji se ostvaruje uvođenjem NOMA koncepta. Značaj uparivanja korisnika, tj. pridruživanje dva korisnika jednom bloku resursa, razmatran je u [3]. Pokazano je da uparivanje korisnika čiji se kanali značajno razlikuju rezultira visokim dobitkom u performansama u odnosu na OMA. U realnom scenariju koji podrazumeva veliki broj korisnika u ćeliji, povećava se verovatnoća da će se u paru naći korisnici sa sličnim pojačanjima kanala, što nije poželjno jer to dovodi do smanjenja efikasnosti koncepta i ukupnog kapaciteta sistema [4]. Problem uparivanja korisnika sa sličnim pojačanjima je razmatran u [5]. Predložena šema uparivanja bazira se na održavanju relativno uniformne razlike u pojačanju kanala između korisnika u paru. Naime, algoritam podrazumeva uparivanje korisnika iz sredine ćelije sa korisnicima na ivici ili u centru ćelije. U [6] je predloženo hibridno grupisanje korisnika koje podrazumeva formiranje klastera od tri i dva korisnika kako bi se izbeglo postojanje OMA korisnika i potreba za dodatnim resursima.

Raspodela snage korisnicima koji se nalaze u istom klasteru može biti fiksna i dinamička. U slučaju fiksne raspodele snage, podela snage između korisnika je konstantna i nezavisna od trenutnih uslova kanala [7]-[8]. Nasuprot tome, metod dinamičke raspodele snage je zavisan od kanala, a cilj je obezbediti pravednu raspodelu snage i maksimizirati dobitak koji NOMA koncept donosi [9]-[11].

NOMA koncepti u uzlaznim i silaznim deonicama celularnih bežičnih sistema prvi put su razmatrani u [12] i [13],

Nikola Sekulović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: nikola.sekulovic@akademijanis.edu.rs).

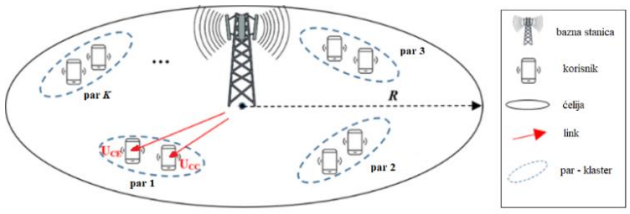
Aleksandra Panajotović, Elektronsk fakultet, Katedra za telekomunikacije, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš (imejl: aleksandra.panajotovic@elfak.ni.ac.rs).

respektivno. Iako je princip isti, postoje neke razlike u pogledu raspodele snage i grupisanja korisnika [14].

Silazna deonica NOMA sistema sa konvencionalnim strategijama uparivanja korisnika poznate kao *High-High* i *High-Low* i algoritmom za raspodelu snage koji ne favorizuje bliže korisnike u sredini koja se modeluje α-$\mathcal{F}$ raspodelom razmatrana je u [15]. U radu [16] je predložen tzv. duboki hibridni algoritam uparivanja korisnika koji emituju signale baznoj stanici (uzlazni link) u sredini koja se modeluje Fisher-Snedecor ($\mathcal{F}$) raspodelom. U ovom radu predmet razmatranja je silazna deonica u NOMA sistemu u okruženju koje se modeluje α-$\mathcal{F}$ raspodelom i predstavlja nastavak našeg istraživanja ove značajne i aktuelne oblasti. Kompozitna α-$\mathcal{F}$ raspodela je veoma popularna u naučnim krugovima za modelovanje nelinearnih sredina u kojima je prisutan feding i senka. Dakle, ideja je da u ovom radu ispitamo opravdanost i efikasnost primene dubokog hubridnog algoritma uparivanja za slučaj silazne deonice.

2. MODELOVANJE SISTEMA I SREDINE

U radu se razmatra silazna deonica u NOMA sistemu sa $2K$ uniformno raspoređenih korisnika unutar ćelije poluprečnika R. Opisani scenario je ilustrovan na Slici 1. Bazna stanica se nalazi u centru ćelije. Korisnici su grupisani u K klastera, odnosno parova. Parovi su formirani tako da svaki par sadrži tzv. bliskog korisnika (jakog korisnika), U_{CC}, i tzv. udaljenog korisnika (slabijeg korisnika), U_{CE}.



Slika 1. *NOMA sistem – slučaj silazne deonice*

Bazna stanica šalje signal koji je rezultat superpozicije signala koji su namenjeni uparenim korisnicima. Dakle, korisnici U_{CC} i U_{CE} primaju signal [15]

$$Y_i = \sqrt{g_i}h_i\sum_{l=1}^{2}\sqrt{a_l P}X_l + n_i,\ \ i=1,2, \tag{1}$$

gde je P snaga signala namenjena uparenim korisnicima, h_i je koeficijent kojim se opisuje stanje kanala između bazne stanica i i - tog korisnika (i = 1 za U_{CC}, i i = 2 for U_{CE}). Faktor alokacije snage a_i ($0 < a_i < 1$, i = 1, 2) definiše nivo snage dodeljen korisniku, pri čemu važi $a_1 + a_2 = 1$. U slučaju silazne deonice, uslov $|h_1|^2 > |h_2|^2$ implicira da je $a_1 < a_2$. Dakle, nivoi snage dodeljeni korisnicima zavise od stanja njihovih kanala, pri čemu postoji obrnuta proporcionalna veza. X_i predstavlja simbol podataka namenjen za prenos i - tom korisniku sa jediničnom energijom $\mathrm{E}\{|X_i|^2\} = 1$, a n_i predstavlja beli Gausov šum. Koeficijent dobitka putanje g_i između bazne stanice i i - tog korisnika definiše na sledeći način

$$g_i = g_0 \Big/ \left[H^2 + \left(x_i^2 + y_i^2\right)\right]^{\beta/2} \tag{2}$$

gde je referentni dobitak na referentnom rastojanju označen sa g_0, a položaj i-tog korisnika definisan je koordinatama x_i i y_i. H i β označavaju visinu antene bazne stanice i eksponent gubitka na putu, redom.

Odnos signal-interferencija plus šum (*signal-to-interference-and-noise ratio*, SINR) uparenih korisnika definiše se na sledeći način

$$\gamma_1 = \rho a_1 g_1 |h_1|^2, \quad \gamma_2 = \frac{\rho a_2 g_2 |h_2|^2}{\rho a_1 g_2 |h_2|^2 + 1}, \tag{3}$$

gde je $\rho = P/N_0$ odnos signal-šum, a N_0 predstavlja varijansu Gausovog belog šuma.

Funkcije gustine verovatnoće (*probability density functions*, PDFs) odnosa signal-interferencija plus šum za bližeg i daljeg korisnika u bežičnom okruženju koje se modeluje α-$\mathcal{F}$ raspodelom su redom [15]

$$p_{\gamma_1}(\omega) = \frac{\alpha_1 \theta_1^{m_1}}{2B(\mu_1, m_1)} \frac{\omega^{\frac{\alpha_1}{2}\mu_1 - 1}}{\left(\omega^{\frac{\alpha_1}{2}} + \theta_1\right)^{m_1+\mu_1}}, \tag{4}$$

gde je $\theta_1 = \dfrac{(\rho g_1 a_1)^{\alpha_1/2}(m_1 - 1)\Omega_1}{\mu_1}$, i

$$p_{\gamma_2}(\omega) = \frac{\alpha_2 \theta_2^{m_2}}{2B(\mu_2, m_2)} \frac{W_{th}}{(W_{th} - \omega)^2} \frac{\left(\dfrac{\omega}{W_{th} - \omega}\right)^{\frac{\alpha_2}{2}\mu_2 - 1}}{\left(\left(\dfrac{\omega}{W_{th} - \omega}\right)^{\frac{\alpha_2}{2}} + \theta_2\right)^{m_2+\mu_2}}, \tag{5}$$

gde je $\theta_2 = \dfrac{(\rho g_2 a_1)^{\alpha_2/2}(m_2 - 1)\Omega_2}{\mu_2}$ i $W_{th} = \dfrac{a_2}{a_1}$.

Parametri m_i, α_i i μ_i opisuju oštrinu fedinga, nelinearnost sredine i broj klastera koji definiše feding. Ω_i je srednja snaga signala, a $B(\cdot,\cdot)$ je beta funkcija.

Nakon odgovarajućih matematičkih operacija, verovatnoće otkaza uparenih korsnika su [15]

$$P_{out,1}(\gamma_{th,1}) = \frac{1}{\Gamma(m_1)\Gamma(\mu_1)} G_{2,2}^{1,2}\left(\mu_1 \frac{\left(\dfrac{\gamma_{th,1}}{\rho a_1 g_1}\right)^{\alpha_1/2}}{(m_1 - 1)\Omega_1}\middle| \begin{matrix} 1 - m_1, 1 \\ \mu_1, 0 \end{matrix}\right) \tag{6}$$

i

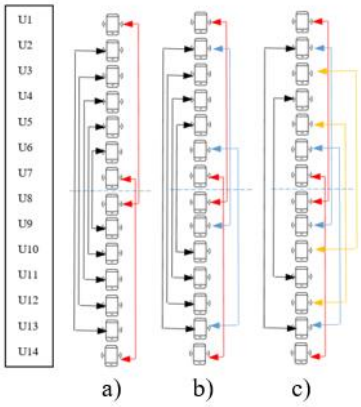
$$P_{out,2} = \begin{cases} \Upsilon, & \gamma_2 < \gamma_{th,2} \\ 0, & otherwise \end{cases}, \tag{7}$$

$$\Upsilon = \frac{1}{\Gamma(m_2)\Gamma(\mu_2)} G_{2,2}^{1,2}\left(\frac{\mu_2}{\Omega_2(m_2 - 1)}\left(\frac{\gamma_{th,2}}{\rho a_1 g_2 (W_{th} - \gamma_{th,2})}\right)^{\alpha_2/2}\middle| \begin{matrix} 1 - m_2, 1 \\ \mu_2, 0 \end{matrix}\right) \tag{8}$$

Prag je definisan kao $\gamma_{th,i} = 2^{(Rc,i/BW)} - 1$, gde je BW širina propusnog opsega, $R_{c,i}$ je željena brzina, a $G_{p,q}^{m,n}(\cdot)$ predstavlja Majerovu funkciju.

3. ALGORITAM UPARIVANJA KORISNIKA I DODELE SNAGE

Konvencionalni algoritmi uparivanja korisnika najpre klasifikuju korisnike u dve grupe (bliži, tj. jači korisnici i dalji, tj. slabiji korisnici), a potom uparivanje vrše između korisnika ovih grupa i to po principu bliži-bliži $\{\{h_1, h_{K+1}\},\{h_2, h_{K+2}\},\ldots\}$ ili bliži-dalji $\{\{h_1, h_{2K}\},\{h_2, h_{2K-1}\},\ldots\}$ korisnik. Takođe, postoje i hibridni algoritmi uparivanja koji predstavlja pogodnija rešenja u slučaju kada NOMA sistem treba da se primeni u okruženju sa velikom gustinom korisnika. Zato u ovom radu razmatramo tzv. duboku hibridnu šemu u kojoj različiti broj korisnika može biti uključen u hibridni proces [16]. Duboka hibridna šeme prvog, drugog i trećeg nivoa (L=1, 2, 3) prikazana je na Slici 2, za slučaj $2K$=14 korisnika. Korisnici u sredini obe grupe, sa visokim pojačanjem kanala i niskim pojačanjem kanala, upareni po principu bliži-bliži korisnik, dok su ostali korisnici upareni po principu bliži-dalji korisnik.



Slika 2. *Hibridno uparivanje korisnika a) L=1 b) L=2 c) L=3*

Strategija uparivanja korisnika je najčešće usko povezana sa modelom dodele snage radi postizanja visokih performansi sistema. Optimizacija dodele resursa snage korisnicima unutar unapred definisane konfiguracije uparivanja može se vršiti u cilju obezbeđivanja maksimalnog protoka podataka na sledeći način

$$\max R_{sum} = \max\left\{R_{c,1}\left[1-P_{out,1}(P_1)\right]+R_{c,2}\left[1-P_{out,2}(P_2)\right]\right\}, \quad P_1+P_2=P, \tag{9}$$

gde je $P_1=a_1P$ i $P_2=a_2P$, a $R_{c,1}$ i $R_{c,2}$ predstavljaju zahtevane brzine korisnika u paru.

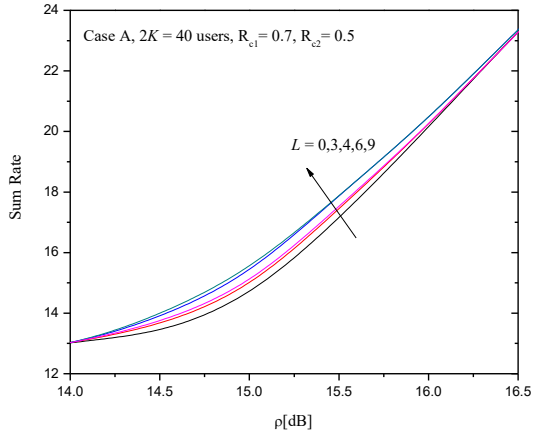
4. NUMERIČKI REZULTATI

U ovom odeljku predstavljena je analiza ukupne brzine prenosa silaznog linka NOMA sistema za slučaj od 20 i 40 korisnka koji su upareni primenom dubokog hibridnog modela, dok je raspodela snage izvršena tako da se obezbeđuje maksimalna brzina para na način opisan jednačinom (9). Na ovaj način se obezbeđuje pravičnost, tj. sprečava se favorizovanje jednog od korisnika na račun drugog sa ciljem da se obezbedi maksimalna ukupna brzina. Razmatra se scenario koji pretpostavlja da su korisnici ravnomerno raspoređeni unutar zamišljenog kruga poluprečnika 100 m, a bazna stanica je locirana u centru kruga sa antenskim stubom visine 100 m. Parametri sredine za dva scenarija dati su u Tabeli I, dok je $g_0 = 50$dB, a $\beta = 3$.

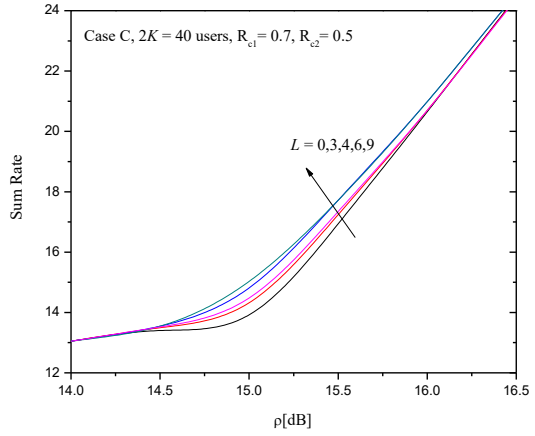
Tabela I *Parametri kojima se opisuje sredina*

Scenario	α	m	μ
A	α_1=2 α_2=4	m_1=10 m_2=5	μ_1=5 μ_2=3
C	α_1=3 α_2=3	m_1=7 m_2=3	μ_1=5 μ_2=5

Iako smo razmatrali vrednosti za SNR od 4 do 40 dB, na slikama smo predstavili opseg u kojem je uticaj razmatranog hibridnog algoritma uparivanja na ukupnu brzinu prenosa izraženiji. To su ujedno i vrednosti koje odgovaraju vrednostima u praksi. Rezultati na Slici 3 nedvosmisleno potvrđuju opravdanost primene predloženog hibridnog modela u obe sredine.



a)

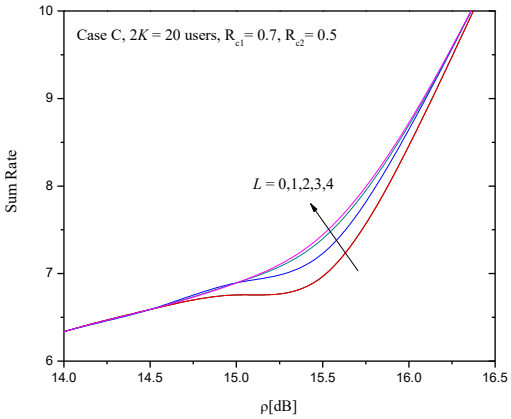


b)

Slika 3. *Ukupna brzina prenosa u funkciji SNR-a*

Kako bi ispitali opravdanost povećanja reda hibridnog modela uparivanja, ponovljen je proces simulacije za sredinu *C* za slučaj od 20 korisnika. Za vrednost SNR-a od 15.5 dB, relativni dobitak usled uvođenja hibridnog koncepta prvog reda je 6.2%, relativni dobitak ostvaren hibridnim konceptom drugog reda je 8.7%, trećeg reda oko 10%, a četvrtog oko 10.1%. Zaključujemo, da se sa povećanjem reda hibridnog

koncepta uparivanja priraštaj dobitka postepeno smanjuje, te da je inicijalno uvođenje hibridnog modela od presudnog značaja.



Slika 4. *Uticaj reda hibridnog algoritma uparivanja na performanse sistema*

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu, ispitivali smo opravdanost i efikasnost primene hibridnog algoritma uparivanja korisnika u silaznim deonicama NOMA sistema u okruženju koje se modeluje α-$\mathcal{F}$ raspodelom. Opravdanost primene predložene duboke hibridne strategije uparivanja korisnika, koja primenjuje *High-High* algoritam za korisnike sa sličnim uslovima kanala i *High-Low* šemu za ostale korisnike, je potvrđena kroz različite scenarije i uslove okruženja. Dobitak ostvaren primenom hibridnog koncepta je najizraženiji u inicijalom koraku njegovog uvođenja, dok se sa povećanjem reda relativno poboljšanje smanjuje.

LITERATURA

[1] Z. Ding, Y. Liu, J. Choi, Q. Sun and M. Elkashlan, "Application of non-orthogonal multiple access in LTE and 5G networks", IEEE Commun. Mag., vol. 55, no. 2, pp. 185-191, 2017.

[2] A. Benjebbour, "An overview of non-orthogonal multiple access", ZTE Commun., vol. 15, no. S1, pp. 21-30, 2017.

[3] Z. Ding, P. Fan and H. V. Poor, "Impact of user pairing on 5G nonorthogonal multiple access downlink transmissions", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 65, no. 8, pp. 6010-6023, 2016.

[4] S. Mounchili and S. Hamouda, "New user grouping scheme for better user pairing in NOMA systems", In Proc. International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC), Limassol, Cyprus, 2020, pp. 820-825.

[5] M. B. Shahab, M. Irfan, M. F. Kader and S. Y. Shin, "User pairing scheme for capacity maximization in non-orthogonal multiple access systems", Wirel. Commun. Mob. Com., vol. 16, no. 5, pp. 2884-2894, 2016.

[6] N. Sekulović, M. Banđur and A. Panajotović, "An approach for user grouping and power allocation for downlink NOMA in a cellular wireless system," Telecommun. Syst., vol. 87, pp. 679–689, 2024.

[7] N. Jaiswal and N. Purohit, "Performance of downlink NOMA-enabled vehicular communications over double Rayleigh fading channels", IET Commun., vol. 14, no. 20, pp. 3652-3660, 2020.

[8] B. M. ElHalawany, F. Jameel, D. B. da Costa, U. S. Dias and K. Wu, "Performance analysis of downlink NOMA systems over κ-μ shadowed fading channels," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 69, no. 1, pp. 1046-1050, 2020.

[9] X. Wang, T. Xu, T. Zhou and H. Hu, "Dynamic power allocation strategy for uplink non-orthogonal multiple access systems", Comp. Commun., vol. 184, pp. 36-41, 2022.

[10] F. Liu, P. Mähönen and M. Petrova, "Proportional fairness-based user pairing and power allocation for non-orthogonal multiple access", In Proc. IEEE Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), Hong Kong, China, 2015, pp. 1127-1131.

[11] Z. Yang, Z. Ding, P. Fan and N. Al-Dhahir, "The impact of power allocation on cooperative non-orthogonal multiple access networks with SWIPT", IEEE Trans. Wirel. Commun., vol. 16, no. 7, pp. 4332-4343, 2017.

[12] Y. Endo, Y. Kishiyama and H. Higuchi, "Uplink non-orthogonal access with MMSE-SIC in the presence of inter-cell interference", In Proc. International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Paris, France, 2012, pp. 261–265.

[13] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, A. Li and K. Higuchi, "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access", In Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Dresden, Germany, 2013, pp. 1–5.

[14] M. S. Ali, H. Tabassumand and E. Hossain, "Dynamic user clustering and power allocation for uplink and downlink non-orthogonal multiple access (NOMA) systems", IEEE Access, vol. 4, pp. 6325–6343, 2016.

[15] A. Panajotović, J. Anastasov, N. Sekulović, D. Milić, D. Milović and N. Milošević, "Sum rate analysis of downlink NOMA over α-F fading channels", Radioengineering, vol. 33, no. 4, pp. 619-628, 2024.

[16] N. Sekulović, A. Panajotović, J. Anastasov, D. Milović and D. Milić, "Performance evaluation of uplink NOMA system with deep hybrid user pairing", In Proc. International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST), Ohrid, North Macedonia, 2025, pp. 1-4.

TEMPERATURNA KOMPENZACIJA SENZORA PRITISKA MPS20N0040D

TEMPERATURE COMPENSATION OF THE MPS20N0040D PRESSURE SENSOR

Milan Savić i Ivana Pejković

Sadržaj – U ovom radu opisan je proces softverske temperaturne kompenzacije senzora pritiska MPS20N0040D. Cilj rada je bio da se na osnovu eksperimentalnih rezultata dobije jednačina koja opisuje zavisnost izlaznog signala senzora od primenjenog vazdušnog pritiska i temperature okoline, kako bi bila moguća jednostavna implementacija u mikrokontrolerske sisteme. Prikazana je upotreba metoda najmanjih kvadrata za dobijanje jednačine koja opisuje pomenutu zavisnost. Rezultati rada pokazuju da je postignuta zadovoljavajuća temperaturna kompenzacija u obrađenom temperaturnom opsegu.

Ključne reči: Senzor pritiska, Vitstonov most, Temperaturna kompenzacija, Polinomijalna regresija.

Abstract – In this paper is presented process of the software temperature compensation of the MPS20N0040D pressure sensor. The aim of the work was to obtain an equation that describes the dependence of the sensors output signal on the applied air pressure and ambient temperature, based on the experimental results, in order to enable simple implementation in microcontroller systems. The use of the least squares method to obtain the equation that describes the mentioned dependence is presented. The results of the work show that a satisfactory temperature compensation was achieved in the processed temperature range.

Keywords: Pressure sensor, Wheatstone bridge, Temperature compensation, Polynomial regression.

1. UVOD

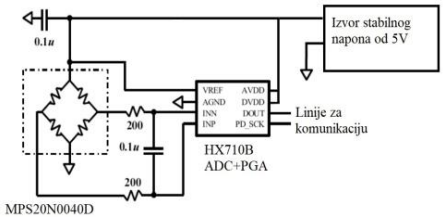
Senzori pritiska su jedni od najzastupljenijih tipova senzora. Njihova uloga je da pretvore pritisak gasa ili fluida u električni signal. Prema tipu senzorskog elementa, oni se mogu podeliti na piezorezistivne, piezoelektrične, kapacitivne, rezonantne i druge [1]. Senzori pritiska predstavljaju važnu komponentu u brojnim sistemima za merenje, gde nalaze svoje mesto u industrijskoj automatizaciji, kontroli procesa, automobilskoj industriji, biomedicinskim aplikacijama, a u poslednjem periodu i u internetu stvari (IoT). Senzori niskog pritiska omogućavaju detekciju i precizno merenje malih promena pritiska u rasponu od nekoliko desetina Paskala do nekoliko hiljada Paskala. Ovakvi senzori nalaze primenu u merenju nivoa tečnosti, sistemima za praćenje kvaliteta vazduha, kontroli protoka fluida, merenju brzine kretanja (Ptot cev), u medicinskim uređajima.

U ovom radu se razmatra modul koji sadrži MPS20N0040D MEMS [2] senzor pritiska i HX710B analogno-digitalni pretvarač 24-bitne rezolucije. Sam senzor ima konfiguraciju Vitstonovog mosta i bazira se na piezorezistivnom principu rada. Deklarisani opseg senzora je od 0 do 40 kPa, sa približno linearnim odzivom. U radu je obrađen interval od 0 do 12 kPa, jer je u tom opsegu korišćen senzor u praktične svrhe, a sa druge strane i sam modul postavlja ograničenje koje leži u tom intervalu.

Razmatrani senzor je deo modula koji sadrži pojačavač sa A/D konvertorom (HX710B kolo), čija je šema data na slici 1. Zbog ovakve konfiguracije modula, opseg merenja pritiska je sužen na približno ±12 kPa, a kao izlazna vrednost uzet je 24-bitni rezultat A/D konverzije.

Milan Savić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milan.savic@akademijanis.edu.rs).

Ivana Pejković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: ivana.pejkovic95@gmail.com).



Slika 1. *Modul* senzora pritiska

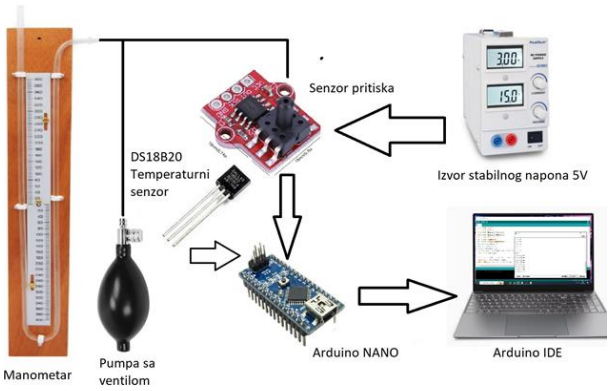
Dostupna tehnička dokumentacija [3] veoma slabo opisuje razmatrani senzor, pa je potrebno primeniti odgovarajuću temperaturnu kompenzaciju radi dobijanja zadovoljavajućih rezultata merenja pritiska.

Kao što je opisano u radu [4], postoje dve tehnike temperaturne kompenzacije: hardverska i softverska, pri čemu je u ovom radu primenjena softverska kompenzacija.

Kako je niska cena jedna od glavnih karakteristika obrađenog senzora, a veliki nedostatak izražena temperaturna zavisnost izlaznog signala, potrebno je primeniti odgovarajuću kompenzaciju radi postizanja zadovoljavajućih rezultata merenja vazdušnog pritiska.

2. POSTAVKA MERENJA

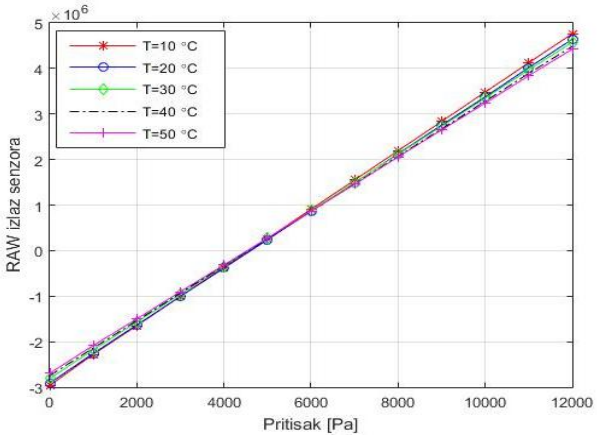
Postavka za merenje se sastoji od modula pritiska, mikrokontrolera Atmega328P, računara, manometra U-tipa, pumpe za podizanje, odnosno spuštanje pritiska vazduha u cevovodu i senzora temperature DS18B20 [5], kao što je predstavljeno na slici 2. Za napajanje modula senzora pritiska korišćen je izvor stabilnog napona PeakTech 6080 od 5V. Temperaturni senzor je pričvršćen za kućište senzora pritiska, a pomoću termalne paste je omogućen bolji transfer toplote, kako bi direktno merili temperaturu samog senzora, a ujedno da bi se smanjila greška očitavanja temperature. Nakon svake promene temperature pomoću mikrokontrolera je beležen izlazni signal sa senzora pritiska.



Slika 2. *Šema postavke za merenje*

Eksperimentalna merenja su sprovedena za pritiske u opsegu od 0 do 12 kPa, u koracima od 1 kPa. Pošto su izlazne karakteristike senzora u ovom opsegu linearne nije bilo potrebe za manjim koracima. Merenja su obavljena pri konstantnim temperaturama sredine od 10, 20, 30, 40 i 50 ˚C. Prilikom merenja izlaznog signala senzora je izvršeno 10 uzastopnih merenja za svaki podešeni pritisak, a kasnije je beležena srednja vrednost. Na taj način je dobijen skup podataka kojim je omogućena analiza zavisnosti izlaznog signala senzora u funkciji pritiska i temperature. Treba još jednom naglasiti da je izlazni signal senzora neoznačen 24-bitni ceo broj, pa je kao takav korišćen u daljoj obradi podataka.

Na osnovu izmerenih vrednosti dobijen je skup karakteristika koji je prikazan na slici 3.



Slika 3. *Izlazne karakteristike senzora pritiska*

Sa karakteristika se uočava da se sa promenom temperature menja offset i nagib karakteristika. U uputstvu za dati senzor je navedeno da je temperaturni koeficijent osetljivosti -0.21% FS/˚C, što se slaže sa dobijenim karakteristikama. Promena offseta (nulte tačke senzora) sa temperaturom predstavlja problem, jer je u uputstvu data vrednost od ±0.08% FS/˚C, pa je potrebno eksperimentalnim putem odrediti ovu promenu.

3. REZULTATI

Za analizu dobijenog skupa podataka je korišćena polinomijalna regresija, odnosno metoda najmanjih kvadrata [6] da bi se dobila jednačina drugog reda koja opisuje zavisnost pritiska [Pa] od izlaza senzora RAW (24-bitni broj) i temperature T [˚C] (1).

$$P = a_1 + a_2 * RAW + a_3 * T + a_4 * RAW * T + a_5 * RAW^2 + a_6 * T^2 \quad (1)$$

Nakon primenjenog metoda, dobijena je konačna jednačina, pri čemu je RAW vrednost normalizovana sa faktorom 10^6 i predstavljena sa RAW_n (2).

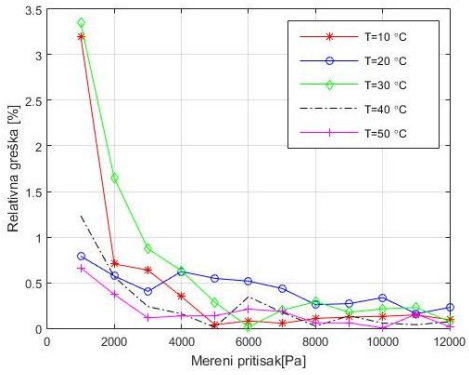
$$P = 4575.26 + 1527.6 * RAW_n + 1.84 * T + 3.25 * RAW_n * T - 0.38 * RAW_n^2 - 0.055 * T^2 \quad (2)$$

U tabeli I su prikazani parametri dobijenog modela, gde treba zapaziti da je srednja kvadratna greška samo 18.244 Pa.

Tabela I *Parametri dobijenog modela*

Koeficijent determinacije R^2	Srednja kvadratna greška [Pa]	***Maksimalna apsolutna greška [Pa]***
0.999976	*18.244*	*48.569*

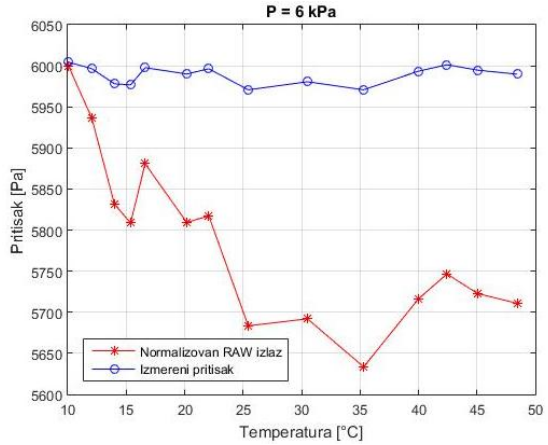
Nakon validacije nad ulaznim skupom podataka se dobija da je maksimalna relativna greška do ~3.5% za pritiske do 1000 Paskala. Sa priloženog grafika na slici 4. se vidi da je u većini slučajeva relativna greška daleko ispod 1%, što dokazuje da prikazani model daje dobre rezultate.



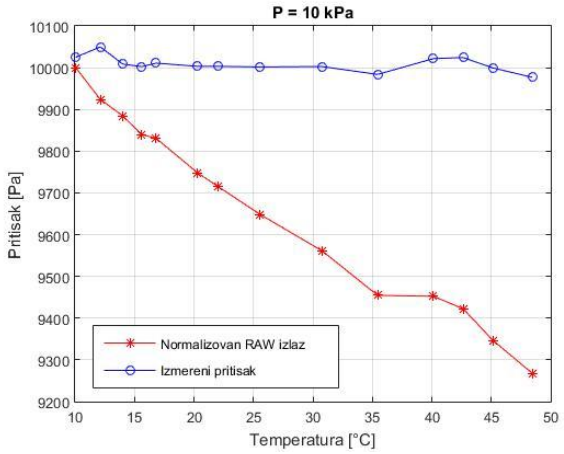
Slika 4. *Relativna greška nakon validacije*

Za testiranje dobijenog modela koji opisuje ponašanje datog senzora korišćeni su konstantni pritisci od 6 i 10 kPa, a temperatura je menjana u opsegu od 10 do 48 ˚C. Postupak se sastojao da je najpre sistem ohlađen na 10 ˚C, pri razlici pritiska od 0 Pa, a zatim je postavljen pritisak od 6 kPa i zabeležen izlaz senzora pritiska. Zatim je pritisak ponovo vraćan na 0 Pa, pa je podizana temperatura na sledeću vrednost. Ovaj postupak je primenjen usled termičkog širenja samih cevi, pa je dolazilo do velikog odstupanja očitanih vrednosti. Na slikama 5. i 6. su prikazane karakteristike

očitanog pritiska sa promenom temperature, pri čemu je izlaz senzora normalizovan. Maksimalna apsolutna greška iznosi 49.9 Pa, a koren srednje kvadratne greške 17.58 Pa.



Slika 5. *Zavisnost izmerenog pritiska od temperature za P = 6 kPa*



Slika 6. *Zavisnost izmerenog pritiska od temperature za P = 10 kPa*

4. ZAKLJUČAK

Kao rezultat ovog rada omogućeno je da merenjem temperature okoline dobijemo softverski kompenzovanu vrednost očitanog pritiska. Kako je razmatrani modul senzora pritiska jedan od zastupljenijih na tržištu u sferi edukacije, na ovaj način je omogućeno merenje pritiska sa tačnošću koja karakteriše znatno skuplje senzore. Daljim radom treba proširiti opseg pritiska i temperature pri čemu treba uraditi redizajn modula, a takođe treba posvetiti i posebnu pažnju kompenzaciji drifta koji nastaje kao posledica nestabilnosti napona napajanja.

LITERATURA

[1] Y. Huang, X. Fan, S. C. Chen and N. Zao, Emerging technologies of flexible pressure sensors: Material, modeling, devices and manufacturing, Advanced functional materials, 2019.

[2] X. Fang, C. Wu, B. Tian, L. Zhao, X. Wei, Z. Jiang, "Pressure Sensors Based on the Third Generation Semiconductor Silicon Carbide: A Comprehensive Review", Elsevier Engineering, vol. 52, pp. 183-203, September 2025.

[3] MPS20N0040D datasheet, Dostupno na: https://cdn.sparkfun.com/assets/home_page_posts/1/9/0/2/Pressure_Sensor.pdf Pristupljeno: 25.06.2025

[4] J. Cui, S. Zhang and Y. Jiang, Design of a rapid and accurate Calibration System for pressure Sensors with Minimized Temperature Variation, Sensors 2025.

[5] DS18B20 datasheet, Dostupno na: https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf Pristupljeno: 17.06.2025

[6] D. M. Ferrer, Polynomial Regression through Least Square Method, Instituto de Estudios Superiores de Tamaulipas, 2018.

5G-ADVANCED: TEMELJI, KLJUČNE INOVACIJE I PUT PREMA 6G

5G-ADVANCED: FOUNDATIONS, KEY INNOVATIONS AND THE PATH TOWARD 6G

Nikola Milutinović i Dejan Dodić

Sadržaj – Ovaj rad daje sveobuhvatnu tehničku analizu 5G-Advanced tehnologije. U fokusu istraživanja nalazi se njen standardizacioni okvir (3GPP Release 18–20), ključna tehnološka unapređenja, novi scenariji primene, kao i operativni i bezbednosni izazovi. U radu, 5G-Advanced se ne razmatra samo kao tehnička nadogradnja, već i kao strateški most između aktuelnih 5G mreža i budućih 6G sistema. Standardizacione aktivnosti u okviru Release 19 i 20, koje uključuju rane studije tehnologija za 6G, potvrđuju ovu tezu. Na kraju, 5G-Advanced predstavlja ključnu fazu u razvoju mobilnih komunikacija, čiji je značaj višestruk: maksimizacija povrata na investicije u 5G infrastrukturu, kreiranje novih poslovnih modela i testiranje fundamentalnih tehnoloških koncepata koji će oblikovati narednu generaciju – 6G mreže.

Ključne reči: 5G-Advanced, 6G, 3GPP, AI, ML.

Abstract – This paper provides a comprehensive technical analysis of 5G-Advanced technology. The research focuses on its standardization framework (3GPP Release 18–20), key technological enhancements, new application scenarios, as well as operational and security challenges. In this study, 5G-Advanced is examined not only as a technical upgrade, but also as a strategic bridge between current 5G networks and future 6G systems. The standardization activities within Release 19 and 20, which include early studies of technologies for 6G, further support this claim. Ultimately, 5G-Advanced represents a crucial phase in the evolution of mobile communications, whose significance is multifold: maximizing the return on investment in 5G infrastructure, enabling new business models, and testing fundamental technological concepts that will shape the next generation — 6G networks.

Keywords: 5G-Advanced, 6G, 3GPP, AI, ML.

1. UVOD

Razvoj mobilnih komunikacionih mreža od prve generacije (1G) do četvrte generacije (4G) imao je za primarni cilj poboljšanje glasovnih usluga, a kasnije i mobilni širokopojasni pristup. Sa dolaskom tehnologije pete generacije (5G), standardizovane kroz 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) *Release* 15-17, mobilna komunikacija doživela je fundamentalnu promenu paradigme. Umesto nadogradnje samo brzine prenosa podataka, 5G tehnologija zasniva se na tri ključna nivoa: unapređeni mobilni širokopojasni pristup (eMBB - *enhanced Mobile Broadband*), masovne mašinske komunikacije (mMTC - *Massive Machine Type Communications)* i ultra-pouzdane komunikacije sa niskom latencijom (URLLC - *Ultra Reliable Low Latency Communications*) [1].

Početna faza 5G tehnologije, zasniva se na arhitekturama *Release* 15 i 16, pri čemu se fokusirala uglavnom na eMBB, što je omogućilo brzi globalni rast broja pretplatnika. Iako su masovno usvajanje i tempo implementacije bili značajni, puni potencijal 5G sistema u vertikalnim industrijama koje zahtevaju izuzetno visoku pouzdanost i nisku latenciju ostao je u velikoj meri neiskorišćen [1].

5G-*Advanced* predstavlja naredni, ključni evolucioni korak u razvoju mobilnih komunikacionih tehnologija, standardizovanih od strane organizacije 3GPP. Ova faza, koja započinje sa 3GPP Release 18, definiše se kao „drugi talas" standardizacije 5G sistema, sa ciljem da proširi mogućnosti mreže daleko izvan okvira osnovne povezanosti. 5G-*Advanced* ne podrazumeva samo unapređenja u pogledu brzine i pouzdanosti, već postavlja temelje za potpuno nove vertikalne scenarije primene [1]. Ključne inovacije uključuju duboku integraciju veštačke inteligencije (AI – *Artificial Inteligence*) i mašinskog učenja (ML - *Machine Learning*) na svim nivoima mreže, što omogućava automatizaciju bez ljudske intervencije (*zero-touch automation*) i prediktivno održavanje [2].

Pored toga, značajna unapređenja performansi obuhvataju dalji razvoj Massive MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*) tehnologije, sa ciljem povećanja spektralne efikasnosti i energetske održivosti. Poseban akcenat stavljen je na podršku za impresivna iskustva produžene stvarnosti (XR - *Extended Reality*), kroz tehnologije poput L4S (*Low Latency, Low Loss, Scalable throughput*), čime se obezbeđuje stabilna i niska latencija neophodna za *Cloud gaming* i VR (*Virtual Reality*) aplikacije [3]. 5G-*Advanced*, takođe, uvodi specijalizovane funkcionalnosti za Internet stvari (IoT – *Internet of Things*), uključujući podršku za uređaje smanjene složenosti (RedCap - *Research Electronic Data Capture*), čime se omogućava široka primena u industrijskim IoT (IIoT – *Industrial Internet of Things*) tehnologijama [1].

2. 5G-ADVANCED – NADOGRADNJA I MOST KA 6G

5G-*Advanced* je definisan kroz 3GPP *Release* 18 kao strateški nastavak koji predstavlja drugi, zreliji talas 5G standardizacije [3]. Ova faza je ključna za otključavanje dubokog, neiskorišćenog potencijala 5G mreža. Umesto da predstavlja radikalno novu generaciju, 5G-Advanced služi kao kritični „most" ka 6G mrežama, omogućavajući postepenu komercijalizaciju naprednih funkcionalnosti i stvaranje novih tržišnih prilika. Operatori i industrijski partneri prepoznaju da je dugoročni rast prihoda povezan sa uslugama za vertikalne industrije, a ne samo sa klasičnim potrošačkim modelima. 5G-

Advanced je dizajniran da to omogući, testirajući i uvodeći tehnologije poput AI/ML, naprednog pozicioniranja i energetske efikasnosti, koje će postati ključne komponente 6G mreža [2]. Ova evolutivna putanja obezbeđuje kontinuitet razvoja, maksimizuje povrat investicije u postojeću 5G infrastrukturu i postavlja čvrste temelje za sledeću generaciju mobilnih komunikacija. Radovi o 5G-Advanced navode da će ona doneti poboljšanja u performansama, upravljanju i efikasnosti, kao i omogućiti nove slučajeve upotrebe [4]. To uključuje podršku za aplikacije fokusirane na uplink i komunikaciju pri izuzetno velikim brzinama, poput onih u vozovima i avionima [5].

Era 5G-*Advanced* formalno je započela sa 3GPP *Release* 18, koji predstavlja prvi korak u drugoj fazi standardizacije 5G mreža. Proces standardizacije, sa ciljem obezbeđivanja visoke kvalitete specifikacija, produžen je za tri meseca, a konačno „zamrzavanje" specifikacija izvršeno je u martu 2024. godine. Glavni ciljevi *Release* 18 obuhvataju poboljšanje performansi mreže, optimizaciju upravljanja i energetcкe efikasnosti [5]. Kao najvažnije radne stavke i studije u *Release* 18 ističu se:

- Poboljšanja *Massive* MIMO tehnologije radi veće spektralne efikasnosti i kapaciteta mreže.
- Integracija podrške za nezemaljske mreže (*Non-Terrestrial Networks* - NTN) radi proširenja pokrivenosti na globalnom nivou.
- Unapređena podrška za proširenu stvarnost (XR) sa ciljem omogućavanja imerzivnih iskustava.
- Uvođenje uređaja smanjene sposobnosti (RedCap), čime se omogućava razvoj energetski i troškovno efikasnih uređaja za industrijski IoT.
- Poboljšane usluge pozicioniranja, sa preciznošću na nivou centimetra, za primene u logistici i industrijskoj automatizaciji.
- Integracija veštačke inteligencije i mašinskog učenja (AI/ML) u fizički sloj i radio-pristupnu mrežu (RAN).
- Opšte unapređenje bezbednosti mreže, uključujući podršku za snažnije kriptografske algoritme i automatizovano upravljanje sertifikatima [1,3].

Nakon *Release* 18, standardizacijski rad nastavlja se kroz *Release* 19, čije je funkcionalno „zamrzavanje" specifikacija planirano za kraj 2025. godine. Značajno je da je rad na *Release* 20 već započeo, s jedinstvenim pristupom koji se sastoji od dva paralelna toka: nastavka razvoja 5G-*Advanced* i ranih studija za 6G [6].

Ovaj pristup predstavlja strateški korak u evoluciji mobilnih mreža. Umesto da se prelaz na novu generaciju dogodi odjednom, 3GPP koristi *Release* 20 kao inkubacijsku fazu. Ključne tehnologije koje se razmatraju za 6G, poput integrisane senzorike i komunikacije (ISAC) i naprednijih AI/ML funkcija, najpre se detaljno proučavaju i razvijaju unutar okvira 5G-*Advanced* [6]. Ta faza omogućava industriji da reši osnovne tehničke probleme, razvije ekosisteme i testira poslovne modele pre nego što te tehnologije budu zvanično standardizovane u *Release* 21 i kasnije, kao deo 6G sistema. Ova kontinuirana standardizacija obezbeđuje postepen i bezbedan prelazak sa jedne generacije na drugu, maksimizujući vrednost svake faze razvoja.

3. KLJUČNA TEHNOLOŠKA POBOLJŠANJA

3.1. Napredni Massive MIMO i spektralna efikasnost

Massive MIMO je bila jedna od ključnih karakteristika početnih 5G tehnologija, koristeći desetine antena za istovremeno upravljanje višestrukim tokovima podataka. 5G-*Advanced* uvodi dodatna unapređenja u ovu tehnologiju. To uključuje napredniji dizajn *codebook*-a i *sounding reference signal*-a (SRS), optimizovanih za koherentni višetačkani prenos (multi-TRP). Ova poboljšanja omogućavaju bolji kvalitet veze čak i u gusto naseljenim urbanim okruženjima, kao i povećanje spektralne efikasnosti [7]. Prema nekim procenama, ova unapređenja mogu obezbediti i do 20% veće brzine prenosa podataka u poređenju sa standardnim 5G sistemima [1].

3.2. Niska latencija (L4S) i ultra-pouzdane komunikacije (URLLC)

Dok je početni 5G obećavao nisku latenciju od oko 1 ms, stvarna vrednost za misaono-kritične i imerzivne aplikacije ne ogleda se samo u minimalnoj numeričkoj vrednosti, već i u stabilnosti latencije, odnosno niskom kolebanju (*jitter*-u). Tehnologija L4S (*Low Latency, Low Loss, Scalable Throughput*) upravo rešava ovaj problem [8].

L4S mehanizam koristi ECN (*Explicit Congestion Notification*) bitove u zaglavlju IP paketa kako bi prenosio informaciju o potencijalnom zagušenju u ranoj fazi, pre nego što dođe do formiranja redova čekanja i gubitka paketa. Uređaji i serveri u mreži reaguju na ova upozorenja prilagođavanjem brzine prenosa podataka, čime se izbegavaju dodatna kašnjenja. Na ovaj način, L4S obezbeđuje konstantan i predvidljiv kvalitet usluge (QoS), što je ključno za aplikacije kao što su daljinsko upravljanje vozilima, industrijska automatizacija i drugi oblici ultra-pouzdanih komunikacija (URLLC) [8].

3.3. AI-Native mreže i automatizacija

Jedna od najvažnijih inovacija u 5G-*Advanced* jeste pojava „*AI-native*" arhitekture, koja integriše AI/ML funkcionalnosti direktno u radio-pristupnu mrežu (RAN), jezgro mreže i operativne domene. Ovakav pristup omogućava naprednu automatizaciju, uključujući automatizaciju bez intervencije (*zero-touch automation*) i prediktivno održavanje, što značajno poboljšava operativnu efikasnost. Primena veštačke inteligencije u ovom kontekstu može smanjiti vreme detekcije kvarova za čak 90%, kao i broj lažnih alarma za do 70% [2].

3.4. Optimizacija performansi i energetska efikasnost

Osim operativne optimizacije, AI igra ključnu ulogu u unapređenju energetske efikasnosti mreže. 5G-Advanced uvodi mehanizme poput *cell sleep* modova, prilagođavanja snage baznih stanica (*dynamic RX/TX port and power adaptation*) i isključivanja delova *Massive* MIMO sistema kada nisu u upotrebi (MIMO *sleep*) [2]. Ove funkcionalnosti, podržane AI algoritmima, omogućavaju značajno smanjenje potrošnje energije, što je od suštinskog značaja za operativne troškove i globalnu održivost [3].

Međutim, integracija AI/ML tehnologija u 5G-*Advanced* nosi i određene složenije implikacije. Iako AI predstavlja

ključno rešenje za optimizaciju i odbranu mreže, istovremeno otvara prostor za nove bezbednosne rizike. Napadači mogu iskoristiti decentralizovanu prirodu 5G mreža, ranjivosti u virtualizaciji, pa čak i koristiti AI/ML za razvoj samoprilagodljivih napada. Zbog toga, iako AI omogućava naprednu odbranu i detekciju anomalija u realnom vremenu, on ujedno predstavlja i tehnologiju koja omogućava pojavu nove, naprednije generacije sajber pretnji [9].

4. NOVE MOGUĆNOSTI UPOTREBE

4.1. Proširena stvarnost (XR) i imerzivna iskustva

5G-*Advanced* je usmeren na unapređenje imerzivnih iskustava kao što su proširena (AR) i virtuelna (VR) stvarnost, kao i *cloud* gejming [1]. Ključno unapređenje u ovoj oblasti jeste uvođenje *application awareness* tehnologije, koja omogućava premeštanje zahtevnog procesorskog opterećenja sa korisničkog uređaja na mrežu. Time se smanjuju troškovi, veličina i potrošnja energije uređaja, čineći ih manjim, energetski efikasnijim i pristupačnijim širokom tržištu [10].

Tehnologija L4S igra ključnu ulogu u podršci XR aplikacijama, obezbeđujući striktno kontrolisanu latenciju i potrebnu stabilnost kako bi se omogućila autentična i imerzivna interakcija u realnom vremenu [10].

4.2. Industrijski IoT (IIoT) i uređaji smanjene sposobnosti (RedCap)

Dok je početni 5G bio usmeren na masovne komunikacije između mašina (mMTC), 5G-*Advanced* donosi ciljanu evoluciju kroz uvođenje uređaja „*Reduced Capability*" (RedCap). Ovi uređaji predstavljaju idealan kompromis između troškova i performansi, čime se otvara prostor za široku upotrebu u industrijskom IoT-u (IIoT) [1].

Tipični slučajevi primene RedCap uređaja uključuju video nadzor za kontrolu kvaliteta, praćenje industrijskih procesa, kao i praćenje imovine (*asset tracking*). Na ovaj način, 5G-*Advanced* ne samo da omogućava masovno povezivanje, već se usmerava na specifične i visoko profitabilne vertikalne primene u okviru Industrije 4.0 [1].

4.3. Komunikacija između vozila (C-V2X) i autonomna vožnja

5G-*Advanced* postavlja čvrste temelje za napredne komunikacije u saobraćaju, posebno kroz unapređenja C-V2X (*Cellular Vehicle-to-Everything*) standarda. Zahvaljujući 5G mrežama i *Sidelink* kanalu, koji omogućava direktnu komunikaciju između uređaja bez oslanjanja na centralnu mrežu, C-V2X se nametnuo kao dominantna tehnologija u odnosu na DSRC. Ova sposobnost je ključna za „*Day 2*" C-V2X aplikacije, koje prevazilaze osnovna bezbednosna upozorenja i omogućavaju razmenu bogatih senzorskih podataka, poput slika i informacija dobijenih od radarskih i LiDAR senzora, između vozila [11].

Na ovaj način menja se sama percepcija vrednosti niske latencije. Umesto da bude samo marketinška karakteristika za potrošače, njena stvarna vrednost ostvaruje se u misijski kritičnim sistemima, gde milisekunde doslovno određuju nivo bezbednosti i efikasnosti autonomne vožnje i daljinskog upravljanja vozilima [11].

5. IZAZOVI IMPLEMENTACIJE I SIGURNOSTI

Implementacija 5G-*Advanced* suočava se sa operativnim i komercijalnim izazovima za mobilne operatere. Neophodno je razviti i sprovesti strategije za monetizaciju novih funkcionalnosti, što podrazumeva ponudu prilagođenih, visoko pouzdanih usluga namenjenih poslovnim korisnicima. Transformacija poslovnih modela — od isključive prodaje pretplata ka pružanju specijalizovanih usluga u industrijskim okruženjima — predstavlja značajan investicioni i organizacioni poduhvat [10].

Sveobuhvatna implementacija 5G-*Advanced*, sa masivnim brojem povezanih uređaja i decentralizovanom arhitekturom, značajno proširuje površinu napada, čineći mreže ranjivijim na DoS i DDoS napade. Posebne bezbednosne ranjivosti proističu iz ključnih inovacija 5G-*Advanced* tehnologije [9]:

- Mrežno rezanje - Iako network slicing donosi brojne prednosti, njegova implementacija uvodi nove ranjivosti. Problemi se javljaju zbog nedovoljne izolacije između virtuelnih segmenata, rizika povezanih sa virtualizacionim tehnologijama (SDN i NFV), kao i kompleksnosti okruženja sa više korisnika i operatera (multi-tenancy). Napadači mogu manipulisati zahtevima za resurse ili iskoristiti ranjivosti u šablonima za kreiranje slice-ova, što može dovesti do prekomerne alokacije resursa ili kompromitovanja korisničkih podataka [12].
- Lanac snabdevanja - Složenost globalnog lanca snabdevanja 5G opremom predstavlja rizik od kompromitovanih komponenti. Zbog toga je neophodno uvesti rigorozne procese verifikacije kako bi se obezbedio integritet hardverskih i softverskih elemenata [9].
- AI/ML integracija - Iako je AI ključan za optimizaciju i unapređenje bezbednosti, on istovremeno omogućava nastanak novih, samoprilagodljivih napada. Decentralizovana priroda 5G mreža može biti iskorišćena za pokretanje masovnih napada koristeći veliki broj kompromitovanih IoT uređaja [9].

Uprkos navedenim rizicima, AI/ML predstavlja ujedno i najvažniji alat u borbi protiv ovih pretnji. Integracijom AI-ja u mrežu, operateri mogu koristiti napredne algoritme za analizu saobraćajnih obrazaca i detekciju anomalija u realnom vremenu. Studije pokazuju da AI može smanjiti vreme odgovora na incidente za čak 50%. Korišćenjem prediktivne analitike, AI omogućava proaktivnu odbranu, predviđajući obrasce napada pre nego što do njih dođe [13].

Zbog toga je implementacija bezbednosnih okvira, poput modela nultog poverenja (Zero Trust), od ključne važnosti za efikasnu zaštitu u 5G-Advanced okruženjima [13].

5. ZAKLJUČAK

5G-*Advanced*, definisan pre svega kroz 3GPP *Release* 18, nije samo nadogradnja u pogledu brzine i kapaciteta, već predstavlja duboku evoluciju koja će omogućiti otključavanje punog potencijala 5G tehnologije. Glavna tehnička dostignuća obuhvataju uvođenje *AI-native* arhitekture, implementaciju L4S tehnologije za stabilnu i nisku latenciju, unapređenja *Massive* MIMO sistema, kao i podršku za nove klase uređaja poput RedCap terminala. Ova poboljšanja omogućavaju širok spektar novih i naprednih primena — od imerzivnih XR iskustava i napredne industrijske automatizacije do autonomne vožnje i C-V2X komunikacije.

5G-*Advanced* treba posmatrati kao ključnu tranzicionu fazu, a ne kao krajnju tačku u evoluciji mobilnih mreža. Njegova strateška važnost ogleda se u ulozi kritičnog mosta ka 6G tehnologijama, inkubirajući i komercijalizujući ključne inovacije koje će definisati narednu generaciju. Eksplicitni rad na *Release* 20, koji paralelno razvija 5G-*Advanced* i sprovodi rane studije za 6G, potvrđuje ovu tezu. Na taj način, 5G-*Advanced* maksimizuje vrednost postojećih investicija, omogućava razvoj novih poslovnih modela u vertikalnim industrijama i postavlja čvrste temelje za nadolazeću eru 6G mreža.

Na osnovu sprovedene analize, buduća istraživanja treba usmeriti na nekoliko ključnih oblasti. To uključuje dalji razvoj integrisanog senzorisanja i komunikacije (ISAC), dublju integraciju AI/ML tehnologija na fizičkom sloju mreže, kao i rad na uspostavljanju jedinstvenog i skalabilnog interfejsa za 6G. Pored tehničkih aspekata, ključni izazovi za buduća istraživanja biće rešavanje složenih bezbednosnih pitanja (posebno u kontekstu AI-ja i mrežnog rezanja), kao i optimizacija operativnih troškova kako bi se omogućila masovna komercijalna primena 6G sistema.

LITERATURA

[1] Nokia, „5G-Advanced explained“, [Online] Dostupno na: https://www.nokia.com/mobile-networks/monetization/5g-advanced/5g-advanced-explained/

[2] 5G-Advanced Overview - 5G Americas, [Online] Dostupno na: https://www.5gamericas.org/5g-advanced-overview/

[3] 5G Advanced, your network for the next wave of 5G - Ericsson, [Online] Dostupno na: https://www.ericsson.com/en/5g/5g-for-service-providers/5g-advanced

[4] InterDigital, „Driving 5G-Advanced to 6G“, [Online] Dostupno na: https://www.interdigital.com/white_papers/driving-5g-advanced-to-6g

[5] 5G-Advanced - Networks - GSMA, [Online] Dostupno na: https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/networks/5g-network-technologies-and-solutions/5g-advanced/

[6] Rel-20 Planning and Progress in TSG SA - 3GPP, [Online] Dostupno na: https://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/sa-rel20

[7] Android Authority, „What is 5G Advanced or 5.5G and when will it release?“, [Online] Dostupno na: https://www.androidauthority.com/5g-advanced-explained-3430001/

[8] Deutsche Telekom, „What is L4S?“, [Online] Dostupno na: https://www.telekom.com/en/company/details/easy-and-simple-what-is-l4s-1094112

[9] Machine Learning & AI in Cybersecurity, „How advancements in AI, ML, and 5G are fueling the rise in cyber threats – TenX“, [Online] Dostupno na: https://tenx.ai/machine-learning-ai-in-cybersecurity-how-advancements-in-ai-ml-and-5g-are-fueling-the-rise-in-cyber-threats/

[10] Nokia, „5G-Advanced standards“, [Online] Dostupno na: https://www.nokia.com/standardization/technology-standards/5G-advanced/

[11] Israel Electronics News, „With 5G Rollout, C-V2X Emerges as Global V2X Standard“, [Online] Dostupno na: https://techtime.news/2025/07/22/v2x/

[12] Security Threats, Requirements and Recommendations on Creating 5G Network Slicing System: A Survey - MDPI, [Online] Dostupno na: https://www.mdpi.com/2079-9292/13/10/1860

[13] AgileBlue, „Exploring the Impact of 5G Technology“, [Online] Dostupno na: https://agileblue.com/exploring-the-impact-of-5g-technology-on-cybersecurity-practices/

[14] Ericsson, „6G - Follow the journey to the next generation networks“, [Online] Dostupno na: https://www.ericsson.com/en/6

ДИНАМИКА ПРОСЕЧНЕ СНАГЕ РЕАЛНИХ ГОВОРНИХ СИГНАЛА
DYNAMICS OF AVERAGE POWER OF REAL SPEECH SIGNALS

Горан Петковић и Драгана Трајковић

Садржај – У основи поступака за обраду говора је анализа карактеристика говорног сигнала. Међу бројним параметрима, посебно у адаптибилним техникама, један од најкоришћенијих је просечна снага извора говорног сигнала. Ако се обрада врши по слоговима (фрејмовима), што је уобичајено у дигиталној обради, значајно је анализирати просечну снагу фрејмова. У раду је анализирана динамика просечне снаге говорних сигнала доступних говорних корпуса. Анализа је показала да просечна снага зависи од дужине фрејма и да је у пројектовању дигиталних система, посебно у адаптибилним техникама значајно укључити карактеристике овог параметра.

Кључне речи: обрада сигнала, говор, параметри говорног сигнала, просечна снага.

Abstract – At the core of speech processing procedures is the analysis of the characteristics of the speech signal. Among the numerous parameters, especially in adaptive techniques, one of the most widely used is the average power of the speech signal source. If the processing is performed in frames, which is common in digital processing, it is important to analyze the average power of the frames. The paper analyzes the dynamics of the average power of speech signals from available speech corpora. The analysis showed that the average power depends on the length of the frame and that it is important to incorporate the characteristics of this parameter when designing digital systems, especially in adaptive techniques.

Keywords*:* signal processing, speech, speech signal parameters, average power.

1. УВОД

У области дигиталне обраде говорног сигнала постоји велики број развијених техника и алгоритама, од којих су многи у примени. Опсежним и дуготрајним сагледавањем техника примењеним за дигитализовање, обраду, пренос и меморисање сигнала изведени су бројни стандарди који олакшавају решавање техничких проблема елиминишући проблеме некомпатибилности и неприлагођености присутне у коришћењу опреме различитих произвођача. Поред дугогодишњег развоја, евидентна је оправдана потреба за континуираним истраживањима и стандардизацијама нових решења у овој области.

У основи поступака за дигиталну обраду говора је анализа карактеристика говорног сигнала, које су последица неурофизиолошког процеса у централном нервном систему и вокалном тракту човека током генерисања говора. Нестационарност говорног сигнала у времену је изражена променом параметара. Како је промена параметара релативно спора, у кратким временским интервалима се процес може сматрати стационарним. У складу са тим, у циљу постизања максималног квалитета у обради говора препоручује се употреба адаптивних техника, које укључују стално адаптирање на промене параметара. Међу бројним параметрима, посебно у адаптибилним техникама, један од најкоришћенијих је просечна снага извора.

Горан Петковић, Академија техничко – васпитачких струковних студија, Одсек Врање, Филипа Филиповића 20, 17500 Врање (imejl: goran.petković@akademijanis.edu.rs).

Dragana Trajković, Академија техничко – васпитачких струковних студија, Одсек Врање, Филипа Филиповића 20, 17500 Врање (imejl: dragana.trajković@akademijanis.edu.rs).

У оквиру адаптибилних техника, адаптација се може вршити на основу претходног одмерка (тренутно адаптивно квантовање) или на основу већег броја одмерака сигнала. У савременим комуникацијама које укључују протоколе за мултимедијалне садржаје, честа је обрада сигнала по слоговима (фрејмовима). Овај начин обраде сугерише могућност да се у адаптацији на основу већег броја одмерака обрада може вршити статистичком проценом параметара који описују фрејм. Ако се као параметар за адаптацију користи просечна снага, у обради ће бити укључена процена просечне снаге одмерака фрејма.

У пројектовању дигиталних компонената, за постизање захтеваних перформанси, потребно је параметре модела прилагодити нивоу и динамици просечне снаге. Сазнање о динамици просечне снаге доприноси пројектовању у циљу остварења бољих перформанси [1]-[3].

У овом истраживању је предмет анализе динамика просечне снаге реалних говорних сигнала доступних говорних корпуса.

2. ПРОСЕЧНА СНАГА СИГНАЛА

Просечна снага говорног сигнала је дефинисана следећим изразом:

$$P = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} x^2(t)dt\,, \qquad (1)$$

при чему x означава тренутну вредност амплитуде говорног сигнала у функцији времена t.

Ако је густина расподеле вероватноће одмерака $p(x)$ позната просечна снага се може одредити изразом:

$$P = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x)\,dx\,. \tag{2}$$

За одмерени (узорковани) сигнал просечна снага се може израчунати коришћењем израза

$$P = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i^2\,. \tag{3}$$

Често се просечна снага изражава као релативна величина у односу на референтну вредност. Ако се посматра десетострука логаритамска вредност овог односа

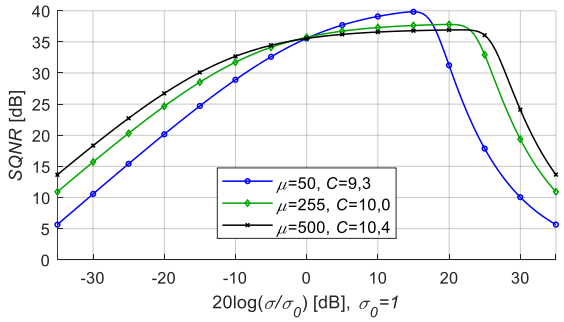
$$P_{\mathrm{dB}} = 10\log\frac{P}{P_{\mathrm{ref}}}\,, \tag{4}$$

просечна снага се изражава у децибелима (dB).

2. ПРОСЕЧНА СНАГА У КВАНТОВАЊУ

Један од примера значаја динамике просечне снаге је пројектовање квантизера говорног сигнала [4]-[6].

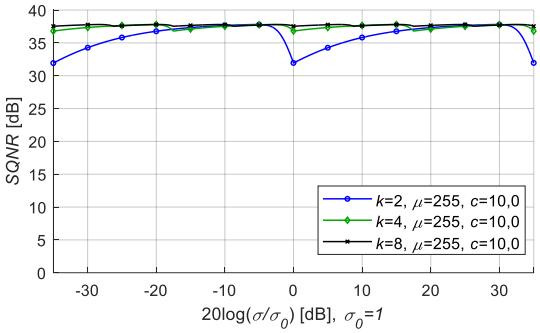
На слици 1 је приказан однос сигнал/шум квантовања (SQNR) у функцији варијансе односно стандардне девијације за квантизер са квазилогаритамским μ законом. За сигнале чија је просечна вредност једнака нули просечна снага је једнака варијанси сигнала. Овој групи сигнала припадају и говорни сигнали. Одступање од ове особине изражено је када је временски интервал посматрања говорног сигнала веома мали [5],[6].



Слика 1. *SQNR у функцији варијансе за квазилогаритамски квантизер и различите вредности параметара μ и c*

Са слике се може закључити да, посматрано у широком динамичком опсегу просечне снаге односно варијансе, вредност SQNR-а није константна и да је у пројектовању неопходно вредности параметара изабрати у складу са претпостављеном динамиком просечне снаге.

На слици 2 је приказана SQNR у функцији варијансе за прекидачко скаларно квантовање и различит број квантизера k у прекидачком квантовању [4]-[6].



Slika 1. *SQNR у функцији варијансе за прекидачки квазилогаритамски квантизер за различит број квантизера k и параметре μ*=255, *c*=10,0

Са слике се запажа да број квантизера у прекидачком квантовању треба изабрати у складу са динамиком пројектоване просечне снаге.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Анализа је спроведена на реалним говорним сигналима доступних говорних корпуса:

- 100 говорних сигнала корпуса Timit 2
- Седам говорних сигнала снимљених коришћењем PC рачунара са хардверским аудио компонентама које се користе у уобичајеној стандардној употреби рачунара.

Сигнали су филтрирани филтром опсега 300-3400Hz, одмерени фреквенцијом 8kHz и кодовани са 16 битова.

Нека је F број фрејмова на које је подељен сигнал, а M број одмеракау фрејму. Просечна снага фрејма одређена је изразом

$$P_f = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M} x_i^2,\ f = 1,\ldots,F\,. \tag{5}$$

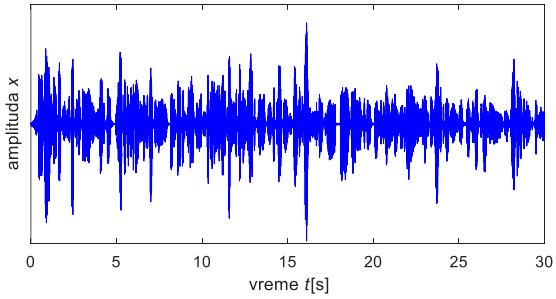
Израчуната просечна снага фрејма у децибелима (dB) је израчуната коришћењем израза

$$P_f^{\mathrm{dB}} = 10\log\frac{P_f}{P_{\mathrm{ref}}},\ f = 1,\ldots F\,, \tag{6}$$

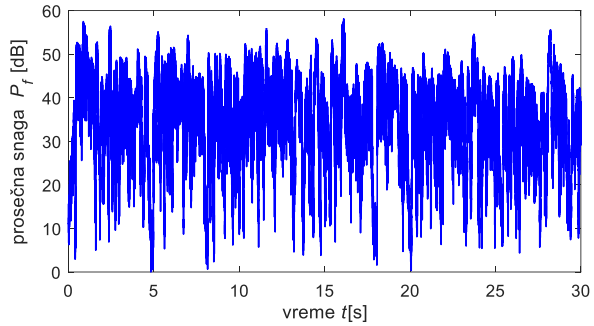
при чему је P_{ref} изабрана референтна снага.

Репрезентативно, за један говорни сигнал, је на слици 2 приказан говорни сигнал у временском домену, а на сликама 2 и 3 је приказана просечна снага фрејма у функцији времена за различиту дужину фрејма.

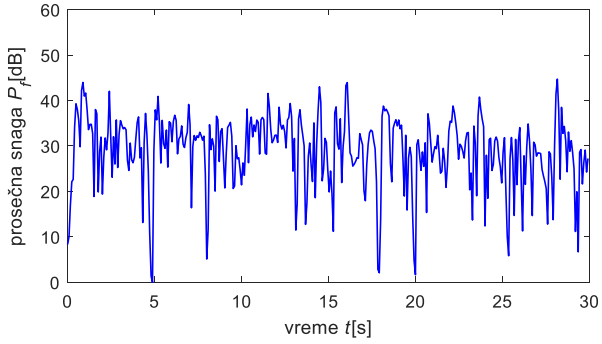
Запажа се да је динамика просечне снаге за фрејмове дужине 10 одмерака већа од просечна снаге за фрејмове дужине 640 одмерака.



Слика 2. *Изабрани говорни сигнал у временском домену*



Слика 3. *Просечна снага изабраног говорног сигнала за дужину фрејма 10 одмерака у функцији времена*



Слика 4. *Просечна снага изабраног говорног сигнала за дужину фрејма 640 одмерака у функцији времена*

У експерименталној анализи је за сваки сигнал говорног корпуса одређена максимална и минимална вредност просечне снаге фрејма. Разлика ових вредности означава динамику просечне снаге сигнала.

$$D_s^{\mathrm{dB}} = \max(P_1^{\mathrm{dB}},...,P_F^{\mathrm{dB}}) - \min(P_1^{\mathrm{dB}},...,P_F^{\mathrm{dB}}),\ s=1,...,S \quad (7)$$

За сваки сигнал говорног корпуса је одређена и стандардна девијација просечне снаге по фрејмовима:

$$\sigma_s^{\mathrm{dB}} = std(P_1^{\mathrm{dB}},...P_F^{\mathrm{dB}}),\ s=1,...,S. \quad (8)$$

На основу ових вредности, као карактеристика говорног корпуса, одређена је просечна вредност:

$$D_{\mathrm{PR,GK}}^{\mathrm{dB}} = \frac{1}{S}\sum_{i=1}^{S} D_i^{\mathrm{dB}} \quad (9)$$

$$\sigma_{\mathrm{PR,GK}}^{\mathrm{dB}} = \frac{1}{S}\sum_{i=1}^{S} \sigma_i^{\mathrm{dB}} \quad (10)$$

Додатно је израчуната стандардна девијација као мера одступања вредности појединачних сигнала од просечне вредност за говорни корпус:

$$\sigma_{\mathrm{GK}}^{\mathrm{dB}} = std(D_1^{\mathrm{dB}},...D_S^{\mathrm{dB}}). \quad (11)$$

У табелама I и II су приказане израчунате вредности. Поступак је поновљен за различите дужине фрејма M=5, 10, 20, 40, 80, 160, 320, 640, а вредности су представљене у посебним колонама табеле. Добијене вредности су приказана и на сликама 5 и 6. За говорни корпус Timit 2 (табела 6) изабрана су, репрезентативно, пет сигнала, док вредности које се односе на говорни корпус обухватају све анализиране сигнале (100 сигнала).

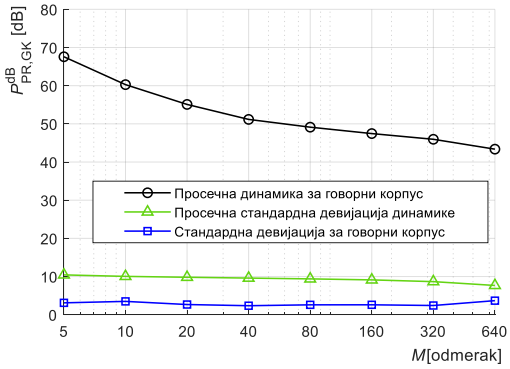
Табела I *Динамика просечне снаге и стандардна девијација динамике просечне снаге за снимљене сигнале*

Говорни сигнал	Параметар	Дужина фрејма [број одмерака]							
		5	**10**	**20**	**40**	**80**	**160**	**320**	**640**
ГС01	D_S^{dB}	66,3	58,1	53,5	50,7	48,5	46,6	46,1	44,7
	σ_S^{dB}	10,8	10,5	10,3	10,2	9,9	9,6	9,0	7,9
ГС02	D_S^{dB}	69,3	63,4	56,5	51,0	49,6	49,1	44,6	43,2
	σ_S^{dB}	10,4	10,0	9,7	9,5	9,4	9,1	8,8	8,1
ГС03	D_S^{dB}	72,1	66,4	59,6	55,8	54,1	52,1	50,3	49,6
	σ_S^{dB}	11,4	11,0	10,8	10,6	10,4	10,1	9,6	8,6
ГС04	D_S^{dB}	64,5	56,3	51,4	48,3	46,1	44,0	42,6	40,1
	σ_S^{dB}	10,3	9,9	9,7	9,4	9,2	9,0	8,5	7,5
ГС05	D_S^{dB}	63,1	58,2	56,4	52,1	50,2	47,9	46,9	38,0
	σ_S^{dB}	10,3	9,8	9,5	9,3	9,1	8,9	8,5	7,3
ГС06	D_S^{dB}	69,3	59,3	53,6	50,3	47,0	45,9	44,7	44,1
	σ_S^{dB}	9,9	9,5	9,3	9,1	8,9	8,7	8,2	7,1
ГС07	D_S^{dB}	68,4	60,1	54,6	49,9	48,4	46,5	46,5	43,8
	σ_S^{dB}	9,9	9,5	9,3	9,0	8,8	8,5	8,0	7,1
Просечна вредност	$D_{\mathrm{PR,GK}}^{\mathrm{dB}}$	67,6	60,3	55,1	51,2	49,1	47,5	46,0	43,4
	$\sigma_{PR,GK}^{\mathrm{dB}}$	10,4	10,0	9,8	9,6	9,4	9,1	8,7	7,7
$\sigma_{GK}^{\mathrm{dB}}$		**3,1**	**3,5**	**2,7**	**2,4**	**2,6**	**2,6**	**2,4**	**3,7**

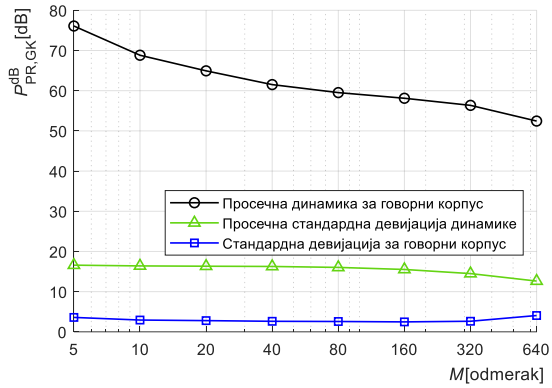
Табел II *Динамика просечне снаге и стандардна девијација динамике просечне снаге за сигнале говорног корпуса TIMIT 2*

Говорни сигнал	Параметар	Дужина фрејма [број одмерака]							
		5	10	20	40	80	160	320	640
si1007	D_S^{dB}	75,2	68,0	66,9	59,7	56,0	54,5	53,0	47,3
	σ_S^{dB}	14,5	14,3	14,3	14,4	14,4	13,8	12,5	10,3
si1008	D_S^{dB}	73,4	65,7	62,8	60,0	59,6	57,7	55,8	52,1
	σ_S^{dB}	16,0	15,9	15,8	15,6	15,2	14,3	13,6	12,8
si1025	D_S^{dB}	73,0	69,1	63,0	59,5	58,5	57,1	55,9	54,3
	σ_S^{dB}	16,6	16,5	16,5	16,5	16,2	15,5	14,7	13,9
si1027	D_S^{dB}	73,3	69,6	66,3	63,5	60,1	58,2	57,6	48,1
	σ_S^{dB}	16,4	16,2	16,2	16,0	15,6	14,7	13,4	11,5
si1028	D_S^{dB}	77,0	64,9	61,8	59,6	56,7	55,9	54,7	53,0
	σ_S^{dB}	16,3	16,1	16,0	16,0	15,7	14,8	13,5	11,2
Просечна вредност	$D_{PR,GK}^{dB}$	76,1	68,8	64,9	61,5	59,5	58,1	56,4	52,4
	$\sigma_{PR,GK}^{dB}$	16,6	16,4	16,3	16,3	16,0	15,5	14,5	12,6
σ_{GK}^{dB}		3,6	2,9	2,8	2,6	2,6	2,5	2,6	4,1

Из података табела и графичког приказа се запажа да је динамика просечне снаге већа код краћих фрејмова и да разлика вредности за најкраће и најдуже фрејмове прелази 20dB. Стандардна девијација, као мера одступања, показује веће вредности код краћих фрејмова. Ако се посматра стандардна девијација динамике просечне снаге појединачних сигнала у односу на просечну вредност за говорни корпус запажа се да је ова вредност већа код најкраћих и најдужих фрејмова. Иако постоји разлика у апсолутним вредностима између говорних корпуса наведене особине су истоветне.



Слика 5. *Динамика просечне снаге за 7 снимљених говорних сигнала у функцији дужине фрејма M*



Слика 6. *Динамика просечне снаге за говорне сигнале корупса TIMIT 2 у функцији дужине фрејма M*

4. ЗАКЉУЧАК

Резултати анализе динамике просечне снаге по фрејмовима на реалним говорним сигналима указују на то да динамика зависи од изабране дужине фрејма и да је у дигиталној обради сигнала неопходно узети у обзир ову зависност.

Значајно би било спровести истраживања на више говорних корпуса који обухватају говорнике различитих језика и говорних подручја.

ЛИТЕРАТУРА

[1] N. S. Jayant, P. Noll, Digital Coding of Waveforms: Principles and Applications to Speech and Video. New Jersey, Prentice Hall, Chapter 4, pp. 115−188, 1984.

[2] L. R. Rabiner and R. W. Schafer, "Introduction to Digital Speech Processing", Foundations and Trends in Signal Processing, vol. 1, pp. 1-194, Jan. 2007.

[3] Z. Perić, J. Nikolić, An adaptive waveform coding algorithm and its application in speech coding. Digital Signal Processing, 22(1), pp. 199-209, 2012. doi: 10.1016/j.dsp.2011.09.001.

[4] Zoran H. Perić, Goran M. Petković, Jelena R. Nikolić, „Prekidačka skalarna kvantizacija govornog signala u širokom dinamičkom opsegu varijansi“, Zbornik radova 54. konferencije ETRAN, Donji Milanovac, 7–10. jun 2010, ISBN 978-86-80509-65-5.

[5] Nikola J. Vucic, Zoran H. Peric, Goran M. Petkovic, „Design of Switched Quantizers and SpeechCoding Based on Quasi-Logarithmic Compandor”, Elektronika Ir Elektrotechnika, Kaunas University of Technology, Vol. 24, No. 6, pp.82-86, 2018, ISSN 1392-1215, doi: 10.5755/j01.eie.24.6.22295.

[6] Z Peric, J Nikolic, A Mosic, S Panic, “A switched-adaptive quantization technique using μ-law quantizers” Information Technologu and Control, vol. 39, no 4, pp 317-320, 2010.

RAZVOJ SISTEMA ZA PREDIKCIJU VREDNOSTI KRIPTOVALUTA PRIMENOM MODELA VREMENSKIH SERIJA

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR CRYPTOCURRENCY VALUE PREDICTION USING TIME SERIES MODELS

Miloš Stojanović, Milan Ristić i Nikola Stojanović

Sadržaj – U radu je prikazan integrisani sistem u *Python* okruženju koji omogućava primenu i poređenje četiri modela nad istim skupom podataka: ARIMA, Holt–Winters, Prophet i LSTM. Korišćeni su dnevni podaci valutnog para BTC/USD za period od 1. juna 2023. do 1. juna 2025. godine, preuzeti sa platforme Yahoo Finance, pri čemu je ciljna promenljiva zatvarajuća cena. Podaci se automatski preuzimaju, pripremaju, dele na obuku i testiranje, a zatim se nad istom serijom treniraju svi modeli. Rezultati pokazuju da tradicionalni modeli daju stabilne prognoze u mirnijim periodima, dok LSTM bolje prati nelinearne obrasce i visoku volatilnost. Integrisani sistem omogućava brzo poređenje pristupa i izbor modela u skladu sa ciljem analize.

Ključne reči: kriptovalute, vremenske serije, ARIMA, Holt–Winters, Prophet, LSTM

Abstract –This paper presents an integrated Python-based system that applies and compares four models on the same data set: ARIMA, Holt–Winters, Prophet and LSTM. The case study uses daily BTC/USD data from June 1st 2023 to June 1st 2025 retrieved from the Yahoo Finance platform, with the closing price as the target variable. The data are automatically downloaded, preprocessed, split into training and test sets, and all models are trained on the same time series. The results show that traditional models provide stable forecasts in calmer periods, while LSTM better captures nonlinear patterns and high volatility. The integrated system enables fast comparison of approaches and supports model selection according to the analysis objective.

Keywords: cryptocurrencies, time series forecasting, ARIMA, Holt–Winters, Prophet, LSTM

1. UVOD

Kriptovalute su se u poslednjoj deceniji razvile u prepoznatljivu klasu digitalne imovine kojom se intenzivno trguje na globalnim tržištima. Njihove cene formiraju se pod uticajem tržišnog sentimenta, regulatornih promena i makroekonomskih faktora, uz izraženu prisutnost špekulativnih strategija, što dovodi do naglih skokova i padova vrednosti. Zbog toga se cene kriptovaluta odlikuju visokom volatilnošću i mogućim strukturnim promenama, pa često odstupaju od pretpostavki koje se uobičajeno usvajaju u klasičnim finansijskim modelima [1]. U takvom okruženju predikcija budućeg kretanja cena predstavlja zahtevan zadatak iz oblasti modelovanja vremenskih serija.

Analiza vremenskih serija zasniva se na pretpostavci da se dinamika posmatranog procesa može opisati kombinacijom determinističkih komponenti, poput trenda i sezonalnosti, i stohastičkog ostatka [2], [3]. U finansijskim primenama cilj je da se na osnovu istorijskih podataka izgradi model koji omogućava pouzdanu kratkoročnu ili srednjoročnu prognozu. Tradicionalni statistički modeli, kao što su *ARIMA* i *Holt–Winters*, razvijeni su kao standardni alati za ovakve zadatke i pokazali su se efikasnim u domenima u kojima su obrasci relativno stabilni i umereno promenljivi [2], [3]. Kada su prisutne izražena nelinearnost, promenljiva volatilnost i ekstremne vrednosti, kakve su česte kod kriptovaluta, performanse ovih modela postaju ograničene [1].

Razvoj savremenih metoda doneo je modele koji nastoje da prevaziđu ova ograničenja. *Prophet* model uvodi fleksibilnu aditivnu dekompoziciju trenda i sezonalnosti, sa procedurama procene robusnim na nedostajuće podatke i izolovane ekstremne vrednosti [4]. *Long Short-Term Memory* mreže, kao posebna klasa rekurentnih neuronskih mreža, dizajnirane su tako da mogu da uče dugoročne zavisnosti u sekvencijalnim podacima i da modeluju složene nelinearne obrasce. Literatura pokazuje da ovi pristupi u pojedinim slučajevima ostvaruju bolju tačnost predikcije na finansijskim serijama, uključujući i cene kriptovaluta, ali po cenu veće računarske složenosti i potrebe za pažljivim podešavanjem hiperparametara [5].

Brojna istraživanja ukazuju da ne postoji univerzalno najbolji model za sve tipove finansijskih vremenskih serija. Dobro podešeni tradicionalni modeli mogu biti konkurentni u stabilnijim periodima i za kraće horizonte, dok se savremeni statistički i neuronski modeli ističu u situacijama sa izraženom nelinearnošću i promenama režima. Zbog toga se sve češće razmatra pristup u kome se više modela posmatra komplementarno i poredi nad istim skupom podataka, umesto da se traži jedno univerzalno rešenje.

U ovom radu razmatra se razvoj integrisanog sistema koji omogućava primenu i poređenje četiri modela vremenskih serija nad istorijskim podacima o cenama kriptovaluta: *ARIMA*, *Holt–Winters*, *Prophet* i LSTM. Sistem je implementiran u *Python* okruženju [6] korišćenjem biblioteka

Miloš Stojanović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milos.stojanovic@akademijanis.edu.rs).

Milan Ristić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milan.ristic@akademijanis.edu.rs).

Nikola Stojanović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: its1123@akademijanis.edu.rs).

za rad sa vremenskim serijama i mašinsko učenje [7]–[9], u *Jupyter* ili *Google Colab* okruženju za interaktivno izvršavanje [10], [11] sa *ipywidgets* komponentama za korisničku interakciju [12]. Podaci o cenama preuzimaju se sa platforme *Yahoo Finance* [13] za period od 1. juna 2023. do 1. juna 2025. godine, sa dnevnom frekvencijom, pri čemu je ciljna promenljiva zatvarajuća cena. Na primeru valutnog para BTC/USD sistem trenira sve modele nad istom vremenskom serijom, a zatim vizuelno i numerički upoređuje njihove prognoze.

Cilj rada je dvostruk. Prvo, razvija se praktična platforma koja istraživačima i praktičarima omogućava da u jedinstvenom okruženju testiraju i uporede različite modele vremenskih serija za predikciju vrednosti kriptovaluta. Drugo, kroz komparativnu analizu performansi modela na slučaju BTC/USD daje se uvid u prednosti i ograničenja tradicionalnih i savremenih pristupa u uslovima visoke volatilnosti, čime se postavlja osnova za dalja istraživanja u pravcu kombinovanja modela i uključivanja dodatnih informacija za predikcije.

2. TEORIJSKI OKVIR I MODELI VREMENSKIH SERIJA

2.1 Vremenske serije i finansijska tržišta

Vremenska serija se definiše kao niz posmatranja jedne veličine u pravilnim vremenskim razmacima, pri čemu je redosled posmatranja ključan za razumevanje dinamike procesa [2]. Klasičan pristup polazi od pretpostavke da se serija može rastaviti na trend, sezonalnost i stohastički ostatak, a cilj je da se na osnovu te strukture izgradi model pogodan za prognoziranje [2]. Finansijske vremenske serije, posebno serije cena, karakterišu promenljiva volatilnost, ekstremne vrednosti i klasterisanje velikih promena, što dovodi do odstupanja od pretpostavki normalnosti i stacionarnosti, pri čemu su ovi efekti kod kriptovaluta još izraženiji [1].

2.2 ARIMA modeli

Autoregresivni integrisani model sa pomičnim prosekom (*ARIMA*) spada među najpoznatije modele za univarijantne vremenske serije. U pristupu *Box–Jenkins* [2] serija se diferencira radi postizanja približne stacionarnosti, a zatim se opisuje linearnom kombinacijom prethodnih vrednosti i prethodnih grešaka prognoze, pri čemu se parametri modela biraju na osnovu autokorelacione i parcijalne autokorelacione funkcije [1]. ARIMA modeli široko se primenjuju u finansijama i često služe kao referentna tačka za poređenje sa nelinearnim pristupima, ali zbog linearne strukture teže opisuju nagle promene i izrazitu nelinearnost karakterističnu za cene kriptovaluta [1], [2].

2.3 HOLT-WINTERS metoda

Holt–Winters metoda predstavlja proširenje eksponencijalnog izravnavanja koje omogućava istovremeno modelovanje nivoa, trenda i sezonalnosti serije [3]. Nivo, trend i sezonska komponenta ažuriraju se rekurzivnim izrazima u kojima skorija posmatranja imaju veću težinu, pri čemu se metoda može formulisati u aditivnoj ili multiplikativnoj varijanti u zavisnosti od prirode sezonalnosti [3]. U finansijskim primenama *Holt–Winters* je pogodan za serije sa stabilnom sezonalnom strukturom i glatkim promenama, ali ima ograničenu sposobnost da verno reprodukuje ekstremne skokove i nagle promene režima tipične za tržište kriptovaluta [1].

2.4 PROPHET modeli

Prophet model zasniva se na aditivnoj dekompoziciji trenda, sezonalnosti i efekata posebnih događaja i razvijen je kao praktičan alat za prognoziranje velikog broja serija u industrijskom okruženju [3]. Trend se tipično modeluje kao komadno linearan ili logistički rast sa tačkama promene nagiba, sezonalne komponente se predstavljaju pomoću Fourierovih nizova, a posebni događaji se modeluju dodatnim regresorima [4]. Model je projektovan tako da bude robustan na nedostajuće podatke i izolovane ekstremne vrednosti, zbog čega je našao primenu i u finansijskim domenima, uključujući i predviđanje cena kriptovaluta [1], [4].

2.5 LSTM neuronske mreže

Long Short-Term Memory mreže predstavljaju specijalizovanu klasu rekurentnih neuronskih mreža koje uvode memorijske ćelije sa ulaznim, izlaznim i vratima zaborava, čime se obezbeđuje stabilno učenje dugoročnih zavisnosti u sekvencijalnim podacima [5]. Ovako definisana arhitektura omogućava mreži da selektivno čuva i zaboravlja informacije tokom dužih vremenskih intervala, pa *LSTM* modeli mogu da aproksimiraju složene nelinearne obrasce i promenljivu volatilnost u finansijskim serijama [4], [5]. Istovremeno, primena LSTM mreža zahteva pažljivo preprocesiranje podataka, izbor arhitekture i hiperparametara, kao i adekvatnu regularizaciju, kako bi se smanjio rizik od preprilagođavanja [1].

3. ARHITEKTURA SISTEMA I OKRUŽENJE ZA IMPLEMENTACIJU

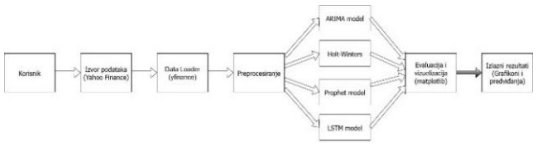
3.1 Opšti opis arhitekture sistema

Razvijeni sistem za predikciju vrednosti kriptovaluta organizovan je kao niz modula od preuzimanja podataka do vizuelizacije rezultata. Korisnik na ulazu bira valutni par (npr. BTC/USD), nakon čega modul za preuzimanje automatski dohvata istorijske dnevne cene sa platforme Yahoo Finance [13] korišćenjem biblioteke yfinance [7]. Podaci se zatim prosleđuju modulu za preprocesiranje, gde se izdvajaju relevantne kolone, postavlja vremenski indeks i formira serija zatvarajućih cena koja se koristi kao ciljna promenljiva.

Tako pripremljena vremenska serija paralelno se prosleđuje podsistemima za četiri modela. ARIMA i Holt–Winters modeli primenjuju se u skladu sa postupcima iz literature [2], [3], Prophet koristi aditivnu dekompoziciju trenda i sezonalnosti [4], dok LSTM podsistem pretvara seriju u ulazno–izlazne sekvence i obučava neuronsku mrežu u TensorFlow okruženju [5], [9]. Modul za evaluaciju upoređuje prognoze svih modela sa stvarnim vrednostima u test periodu, dok modul za vizuelizaciju prikazuje istorijsku seriju i predikcije na zajedničkim grafikonima, što omogućava neposredno poređenje ponašanja modela.

Interaktivnost je obezbeđena kroz Jupyter Notebook ili Google Colab okruženje [10], [11], u kome se pomoću

ipywidgets biblioteke [12] definišu kontrole za izbor valutnog para, perioda posmatranja i pokretanje analize. Na ovaj način sistem funkcioniše kao interaktivna analitička platforma koja u jednom okruženju spaja klasične statističke modele i savremene neuronske mreže. Slika 1 prikazuje komponentni dijagram arhitekture sistema.



Slika 1. *Komponentalni dijagram arhitekture sistema*

3.2 Korišćenje tehnologije i biblioteke

Sistem je implementiran u programskom jeziku Python [6], uz korišćenje standardnih biblioteka za obradu podataka i modelovanje vremenskih serija. Za rad sa tabelarnim strukturama i vremenskim indeksima koristi se pandas, za vizuelizaciju matplotlib, a finansijski podaci o cenama kriptovaluta preuzimaju se preko biblioteke yfinance [7], koja obezbeđuje pristup istorijskim podacima sa platforme Yahoo Finance [13].

Klasični statistički modeli realizovani su korišćenjem biblioteke statsmodels [8] (Holt–Winters i ARIMA), Prophet model se primenjuje preko zvanične Python biblioteke [4], a LSTM mreže u okruženju TensorFlow [9]. Rad u Jupyter Notebook i Google Colab okruženjima [10], [11] omogućava interaktivno testiranje i vizuelnu analizu, dok ipywidgets [12] obezbeđuje jednostavan korisnički interfejs nad istom skriptom.

3.3 Izvor i opis skupa podataka

Podaci korišćeni u istraživanju preuzeti su sa platforme *Yahoo Finance* [13] putem biblioteke *yfinance* [7]. Analiziraju se dnevne cene kriptovaluta izraženih u američkim dolarima za period od 1. juna 2023. do 1. juna 2025. godine, pri čemu se kao ciljna promenljiva posmatra zatvarajuća cena valutnog para BTC/USD. Vremenska oznaka se postavlja kao indeks, a formirana univarijantna serija deli se na skup za obuku i skup za testiranje po vremenskom kriterijumu. Ovako pripremljeni podaci predstavljaju zajedničku osnovu za primenu i poređenje *ARIMA, Holt–Winters, Prophet* i *LSTM* modela.

4. METODOLOGIJA I EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

Metodologija istraživanja zasniva se na primeni četiri modela vremenskih serija nad istom vremenskom serijom zatvarajućih cena kriptovaluta, uz zajedničku evaluaciju rezultata. Istorijski podaci o cenama preuzeti su sa platforme Yahoo Finance [13] korišćenjem biblioteke yfinance [7] za period od 1. juna 2023. do 1. juna 2025. godine, pri čemu se kao studija slučaja razmatra valutni par BTC/USD. Iz preuzetih podataka izdvojena je zatvarajuća cena kao ciljna promenljiva, vremenska oznaka je postavljena kao indeks, a formirana je univarijantna vremenska serija pogodna za primenu navedenih modela.

Serija je podeljena na deo za obuku i deo za testiranje prema vremenskom kriterijumu, tako da početni deo perioda služi za procenu parametara modela, dok završni deo ostaje rezervisan za proveru prediktivnih performansi [1], [2]. Za potrebe LSTM modela dodatno je izvršeno skaliranje vrednosti i formiranje ulazno–izlaznih sekvenci fiksne dužine, u skladu sa preporukama za obradu sekvencijalnih podataka [4], [5]. Na isti skup podataka zatim se primenjuju ARIMA, Holt–Winters, Prophet i LSTM modeli, pri čemu je izbor konfiguracija zasnovan na uobičajenim preporukama iz literature i praktičnom podešavanju na posmatranoj seriji [1]–[4], sa ciljem da se ilustruje tipično ponašanje modela, a ne da se pronađu globalno optimalni parametri.

Evaluacija modela zasniva se pre svega na uporednoj analizi prognoziranih i stvarnih vrednosti u izdvojenom test periodu. Istorijska serija i prognoze svih modela prikazuju se na zajedničkim grafikonima u Jupyter Notebook ili Google Colab okruženju [10], [11], što omogućava neposredno poređenje načina na koji modeli prate trendove, reaguju na nagle promene i ponašaju se u periodima smirivanja tržišta. Po potrebi se mogu primeniti i standardne metrike greške za vremenske serije, kao što su srednja apsolutna greška i koren srednje kvadratne greške, radi kvantitativnog dopunjavanja vizuelne analize, ali fokus rada ostaje na kvalitativnom poređenju oblika prognoza i ponašanja modela u uslovima visoke volatilnosti..

5. REZULTATI I DISKUSIJA

Na slici 2 prikazana je istorijska serija zatvarajućih cena valutnog para BTC/USD za period od 1. juna 2023. do 1. juna 2025. godine. Uočava se izražen rast cene u posmatranom periodu, praćen fazama korekcija i kraćih stabilnih intervala. Serija pokazuje tipične karakteristike tržišta kriptovaluta: visoku volatilnost, nagle skokove i padove, kao i pojavu lokalnih maksimuma i minimuma u kratkim vremenskim razmacima.



Slika 2. *Istorijska serija zatvarajuće cene BTC/USD*



Slika 3. *Istorijska serija BTC/USD*

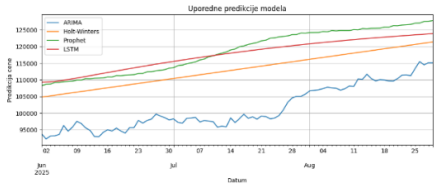
Slika 3 prikazuje istu seriju sa dodatom linearnom regresionom linijom, koja predstavlja aproksimaciju dugoročnog trenda kretanja cene. Jasno se vidi da linearni model uspešno zahvata prosečan rast tokom posmatranog perioda, ali ne može da reprodukuje kratkoročne oscilacije i nagle preokrete. Ovaj prikaz ilustruje ograničenja jednostavnih trend modela u okruženju u kome dominiraju nelinearne promene i režimski lomovi karakteristični za kriptotržišta.

Na slici 4 prikazano je uporedno ponašanje svih modela u odnosu na istorijske podatke. Crna linija predstavlja istoriju zatvarajuće cene, dok plava, narandžasta, zelena i crvena linija označavaju prognoze *ARIMA*, *Holt–Winters*, *Prophet* i *LSTM* modela. Svi modeli u posmatranom horizontu prognoze predviđaju nastavak rasta cene BTC/USD, ali uz različitu dinamiku. *ARIMA* generiše izraženije oscilacije oko opšteg uzlaznog trenda i ostaje bliže poslednjim posmatranim vrednostima, dok *Holt–Winters* daje glatkiju rastuću putanju sa manjim promenama nagiba. *Prophet* i *LSTM* modeli predviđaju strmiji rast, gde su njihove krive bliže jedna drugoj i nalaze se iznad prognoza *ARIMA* i *Holt–Winters* modela.



Slika 4. *Vrednosti i prognoze modela za BTC/USD*

Slika 5 prikazuje uvećan prikaz dela serije koji se odnosi na horizont prognoze, čime je olakšano direktno poređenje modela. Uočava se da *ARIMA* model zadržava najveću kratkoročnu varijabilnost prognoza, što može biti korisno u analizi lokalnih oscilacija, ali i dovodi do većih odstupanja između susednih dana. *Holt–Winters* prognoza prati glatku rastuću liniju sa umerenim nagibom. *Prophet* model predviđa najizraženiji rast, dok *LSTM* zauzima posrednu poziciju između *Prophet* i *Holt–Winters* prognoza. Na osnovu vizuelne analize može se zaključiti da su *Prophet* i *LSTM* posebno osetljivi na rast koji je prisutan u završnom delu istorijske serije, zbog čega više ekstrapoliraju uzlazni trend.



Slika 5. *Uporedne prognoze modela*

Kvalitativno posmatrano, rezultati ukazuju da tradicionalni modeli, kao što su *ARIMA* i *Holt–Winters*, pružaju stabilne i interpretabilne prognoze u delovima serije sa umerenim promenama, dok savremeniji modeli *Prophet* i *LSTM* pokazuju veću fleksibilnost u praćenju naglih promena i izraženijeg rasta. Ovako dobijen raspored uloga modela u skladu je sa očekivanjima za finansijske vremenske serije visoke volatilnosti, gde linearniji pristupi pružaju konzervativnije, a nelinearni modeli agresivnije prognoze. Integrisani sistem razvijen u radu omogućava da se ove razlike jasno uoče kroz zajedničke grafike, što olakšava izbor modela u zavisnosti od cilja analize i prihvatljivog nivoa rizika.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je integrisani sistem za predikciju vrednosti kriptovaluta koji u jedinstvenom *Python* okruženju omogućava primenu i poređenje četiri modela vremenskih serija: *ARIMA*, *Holt–Winters*, *Prophet* i *LSTM*. Sistemsko rešenje zasniva se na automatskom preuzimanju istorijskih podataka o cenama sa platforme *Yahoo Finance*, njihovoj pripremi i paralelnoj primeni modela nad istom vremenskom serijom zatvarajućih cena. Na primeru valutnog para BTC/USD u periodu od 1. juna 2023. do 1. juna 2025. godine pokazano je kako se posmatrani modeli ponašaju pri prognoziranju budućih vrednosti u uslovima izražene volatilnosti.

Dobijeni rezultati ukazuju da ne postoji univerzalno najbolji model za sve situacije. Tradicionalni modeli, kao što su A*RIMA* i *Holt–Winters*, pružaju stabilne i interpretabilne prognoze u periodima sa izraženijim trendom i umerenim oscilacijama, dok savremeniji pristupi, poput *Prophet* modela i posebno *LSTM* mreža, bolje obuhvataju nelinearne obrasce i brze promene u dinamici cene. Time se potvrđuje opravdanost pristupa u kome se više modela posmatra komplementarno, a izbor konkretnog rešenja prilagođava cilju analize, posmatranom horizontu i dostupnim resursima.

Dalji pravci istraživanja obuhvataju proširivanje skupa modela, uključivanje dodatnih objašnjavajućih promenljivih (na primer obima trgovanja ili indikatora sentimenta), kao i sistematsko uvođenje kvantitativnih metrika evaluacije u vidu tabela. Razvijeni sistem može da posluži kao osnova za naprednije analitičke alate za podršku odlučivanju na tržištu kriptovaluta, kao i za eksperimentalno poređenje novih pristupa modelovanju vremenskih serija u ovom domenu.

LITERATURA

[1] R. S. Tsay, Analysis of Financial Time Series, 3rd ed., Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2010.

[2] . E. P. Box, G. M. Jenkins, and G. C. Reinsel, Time Series Analysis: Forecasting and Control, 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall, 1994.

[3] C. C. Holt, "Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages," International Journal of Forecasting, vol. 20, no. 1, pp. 5–10, 2004.

[4] S. J. Taylor and B. Letham, "Forecasting at scale," The American Statistician, vol. 72, no. 1, pp. 37–45, 2018, doi: 10.1080/00031305.2017.1380080. Pristupljeno: 20.7.2025.

[5] S. Hochreiter and J. Schmidhuber, "Long short-term memory," Neural Computation, vol. 9, no. 8, pp. 1735–1780, 1997, doi: 10.1162/neco.1997.9.8.1735.

[6] Python Software Foundation, Python Language Reference, verzija 3.x. [Na mreži]. Dostupno: https://www.python.org/doc/. [Datum pristupa: 1. sept. 2025].

[7] R. Akshay, yfinance: Yahoo! Finance market data downloader. [Na mreži]. Dostupno: https://pypi.org/project/yfinance/. [Datum pristupa: 1. sept. 2025].

[8] S. Seabold and J. Perktold, "Statsmodels: Econometric and statistical modeling with Python," Proceedings of the 9th Python in Science Conference (SciPy 2010), Austin, TX, USA, pp. 92–96, 2010.

[9] M. Abadi et al., "TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems," in Proc. 12th USENIX Symp. Operating Systems Design and Implementation (OSDI), Savannah, GA, USA, 2016. [Na mreži]. Dostupno: https://www.tensorflow.org/

[10] T. Kluyver et al., "Jupyter Notebooks – a publishing format for reproducible computational workflows," in Positioning and Power in Academic Publishing: Players, Agents and Agendas, F. Loizides and B. Schmidt, Eds. Amsterdam, The Netherlands: IOS Press, 2016, pp. 87–90

[11] Google Research, Colaboratory: Collaborative Python Notebook Environment. [Na mreži]. Dostupno: https://colab.research.google.com/. [Datum pristupa: 1. sept. 2025].

[12] Jupyter Widgets, ipywidgets: Interactive HTML widgets for Jupyter notebooks. [Na mreži]. Dostupno: https://ipywidgets.readthedocs.io/. [Datum pristupa: 1. sept. 2025].

[13] Yahoo, Yahoo Finance. [Na mreži]. Dostupno: https://finance.yahoo.com/. [Datum pristupa: 1. sept. 2025].

KOMPARATIVNA ANALIZA METAHEURISTIČKIH METODA ZA POBOLJŠANJE KONTRASTA SLIKE

COMPARATIVE ANALYSIS OF METAHEURISTIC METHODS FOR IMAGE CONTRAST ENHANCEMENT

Nataša Savić i Dragan Jovčev

Sadržaj – U ovom radu razmatraju se metaheurističke metode inspirisane prirodnim procesima, uključujući genetski algoritam i metodu optimizacije rojem čestica, koje omogućavaju adaptivnu optimizaciju parametara i postižu bolje rezultate u poređenju sa klasičnim pristupima. U prvom delu rada opisane su tradicionalne i savremene metode za pobolšanje kontrasta digitalne slike. U drugom delu rada opisan je eksperiment u kome je primenom opisanih metoda izvršena transformacija slika. Evaulacija kontrasta transformisanih slika u odnosu na origialnu sliku izvršena je pomoću metrika MSE, RMS, PSNR, AMBE i Entropije. Rezultati su prikazani tabelarno i pomoću slika.

Ključne reči: Pobolšanje kontrasta, ekvalizacija histograma, genetski algoritam, optimizacija rojem čestica.

Abstract –This paper discusses metaheuristic methods inspired by natural processes, including the genetic algorithm and particle swarm optimization, which enable adaptive parameter optimization and achieve better results compared to classical approaches. In the first part of the paper, traditional and contemporary methods for digital image contrast enhancement are described. In the second part, an experiment is presented in which the application of these methods was used to image transformations. The evaluation of the contrast of the transformed images in relation to the original image was carried out using the metrics MSE, RMS, PSNR, AMBE, and Entropy. The results are presented in tabular form and illustrated with images.

Keywords: Contrast enhancement, Histogram equalization, Genetic algorithm, Particle Swarm Optimization .

1. UVOD

Kontrast digitalne slike predstavlja jedan od fundamentalnih elemenata. Značajno utiče na kvalitet i vizuelnu percepciju slike. Poboljšanje kontrasta digitalnih slika bitan je korak u različitim primenama [1]. U medicinskoj dijagnostici, sistemima za nadzor, bezbedonosnim sistemima, satelitskim sistemima, kontrast značajno utiče na informativnost slike [2]. Dobar kontrast doprinosi preciznoj analizi, omogućava uočavanje detalja i olakšava prepoznavanje objekata na slici. Zato je poboljšanje kontrasta uvek aktuelna tema istraživača [3]-[8].

Tradicionalne metode poboljšanja kontrasta, kao što je izjednačavanje histograma (engl. *Histogram Equalization* - HE) kod mnogih slika niskog kontrasta ne daju prihvatljive rezultate. Često se zbog preteranog povećanja kontrasta javlja gubitak sitnih detalja, što utiče na interpretaciju slike. Pored toga nije moguće automatski obraditi različite slike. Poboljšanje kontrasta zahteva prilagođavanje više parametara. Zato je važno pronaći optimalne parametre.

Za pronalazak optimalnih parametara metaheurističke metode predstavljaju efikasan alat. Problem poboljšavanja kontrasta slike, metaheurističke metode rešavaju kao problem optimizacije. Za poboljšanje kontrasta, ovim metodama prilagođavaju se parametri putem iterativnih procesa i traži globalno optimalno rešenje.

Nataša Savić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: natasa.savic@akademijanis.edu.rs).

Dragan Jovčev, Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet, Studentski trg 16, 11000 Beograd (imejl: dragan.jovcev@biologijakp.edu.rs).

Zbog mogućnosti da generišu optimalna rešenja u realnom vremenu, metaheurističke metode predstavljaju popularan pristup za poboljšavanja kontrasta slike [9]-[11]. Metaheurističke metode mogu adaptivno da optimizuju parametre i daju bolje rezultate od klasičnih pristupa [12].

U ovom radu razmatraju se metaheurističke metode inspirisane prirodnim procesima i to: Genetski algoritam (engl. *Genetic algorithm* - GA), kao i metoda optimizacije rojem čestica (engl. *Particle Swarm Optimization* - PSO). U cilju poboljšanja kontrasta slike primenom GA i PSO metoda, određena je optimalna vrednost parametra γ za primenu γ korekcije slike.

Dalja organizacija rada je sledeća: U sekciji 2 opisane su metode poboljšanja kontrasta. Eksperimentalni rezultati prikazani su u sekciji 3. Analiza rezultata predstavljena je u sekciji 4. Zaključak je prikazan u sekciji 5.

2. METODE POBOLJŠANJA KONTRASTA

Poboljšanje kontrasta digitalne slike može se vršiti pomoću:

a) Klasičnih metoda

b) Savremenih metaheurističkih metoda.

2.1. Klasične metode

2.1.1. Izjednačavanje histograma (Histogram Equalization - HE)

Prilikom korekcije kontrasta vrlo često se, zbog male numeričke složenosti i brze implementacije primenjuje metoda izjednačavanja histograma (engl. *Histogram Equalization* - HE). Ne zavisi od parametara i vrši ravnomernu raspodelu

intenziteta piksela. Primenom ove metode svakom pikselu se dodeljuje nova vrednost, tako da svi mogući intenziteti budu ravnomerno zastupljeni. Međutim, primena ove metode nije uvek efikasna, može dovesti do gubitka detalja i previše pojačati šum.

2.1.2. Gama korekcija

Ljudsko oko i senzori kamere ne registruju svetlost na isti način. Ljudsko oko je osetljivije na tamne nijanse. Za razliku od senzora oko opaža svetlost nelinearno. Kako bi se srednji tonovi na slici bolje razlikovali bez gubitka detalja, koristi se nelinearna transformacija intenziteta piksela, γ-korekcija, definisana sa:

$$I_{iz}(x,y) = I_{ul}(x,y)^{\gamma} \quad (1)$$

gde je $I_{ul}(x,y)$ ulazni intenzitet piksela iz opsega [0,1], $I_{iz}(x,y)$ izlazni intenzitet piksela, a γ parametar korekcije. Za $\gamma < 1$ transformisana slika postaje svetlija, a za $\gamma > 1$ transformisana slika postaje tamnija [4].

2.2. Metaheurističke metode

Kako pri primeni γ-korekcije neadekvatan izbor parametra utiče na vizuelnu percepciju i može dovesti do gubitka detalja, često se pomoću metaheurističkih metoda vrši optimizacija parametra. Metaheurističkim metodama automatski se traži najbolja vrednost parametra γ. Ove metode omogućavaju adaptivnu optimizaciju parametra [12].

2.2.1. Genetski algoritam

GA baziran je na Darwinovoj teoriji prirodne selekcije. Koristi principe selekcije, ukrštanja i mutacije. Najsposobnije jedinke u populaciji opstaju [9].

GA realizuje se u sledećim koracima:

1.Generisanje populacije (niz γ vrednosti [0.1-2.5]);

2. Evaulacija entropije za svaku jedinku;

3. Selekcija (Biraju se jedinke sa najvrćom entropijom);

4. Ukrštanje i mutacija;

5. Kreiranje nove populacije i ponavljanje procesa;

6. Zaustavljanje nakon određenog broja iteracija ili kada se entropija stabilizuje.

2.2.2. Optimizacija rojem čestica

U radu [10] Kennedy i Eberhart predložili su algoritam PSO, baziran na ponašanju ptica i riba u jatu. Svaka čestica kreće se kroz prostor rešenja i predstavlja potencijalno rešenje. Čestica ima svoj položaj i brzinu kojom se kreće. Brzina utiče na promenu vrednosti parametra. Čestice se prilogođavaju prema svom najboljem rešenju i najboljem rešenju u roju. Svaka čestica predstavlja jednu γ vrednost i kreće se kroz prostor rešenja [0.1-2.5] tražeći maksimum entropije.

PSO se odvija kroz sledeće korake:

1. Inicijalizacija čestica;

2. Evaulacija fitnes funkcije;

3. Ažuriranje najboljih vrednosti;

4. Ažuriranje brzine i pozicije;

5. Iteracije;

6. Zaustavljanje.

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Formirana je baza koju čine 10 test slika (S_1-S_{10}). Test slike su standardne test slike S_1-Boats, S_2-Barbara, S_3-Goldhil, S_4-Pirate, S_5-Sails, S_6-Baboon, S_7-Peppers, S_8-Fruits, S_9-Lena, S_{10}-Cameraman. Za svaku test sliku određena je optimalna vrednost parametra γ primenom GA algoritmama (γ_{GA}) kao i primenom PSO algoritma (γ_{PSO}). Na taj način dobijene su GA transformisane slike i PSO transformisane slike.

Primenom tradicionalne metode HE nad svakom test slikom iz baze dobijene su HE transformisane slike

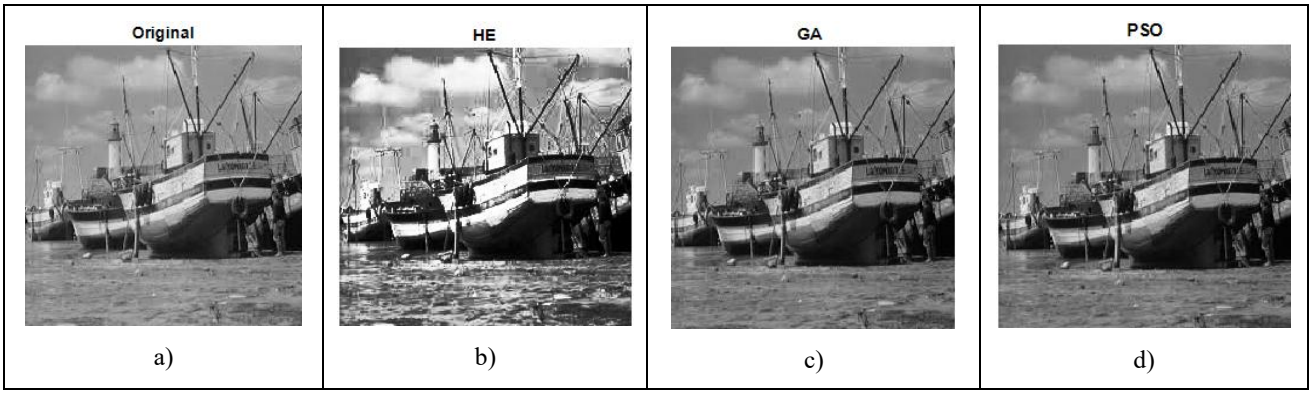
Pomoću metrika MSE (engl. *Mean Square Error*) RMS (engl. *Root mean square*), SSIM (engl. *Structural Similarity Index Measure*), PSNR (engl. *Peak Signal to Noise Ratio*), AMBE (engl. *Absolute Mean Brightness Error*) i Entropije (engl. *Entropy*) izvršena je evaulacija kontrasta HE, GA i PSO transformisane slike u odnosu na originalnu sliku. U cilju procene praktične primene, mereno je i vreme izvršavanja algoritama. Vrednosti ovih metrika prikazane su u tabeli I Pored toga u tabeli je prikazano i vreme izvršavanja algoritama za svaku primenjenu metodu i nad svakom slikom. U zadnjoj koloni tabele I. prikazane su i optimalne vrednosti parametra γ za GA i PSO transformisane slike. U tabeli II date su srednje vrednosti ovih metrika za svaku metodu, kao i srednje vreme izvršavanja algoritama.

Na slici 1. prikazana je originalna slika kao i slike nakon primena HE, GA i PSO algoritma. Na slici 2. prikazani su i histogrami raspodele piksela pre i posle primene algoritama.

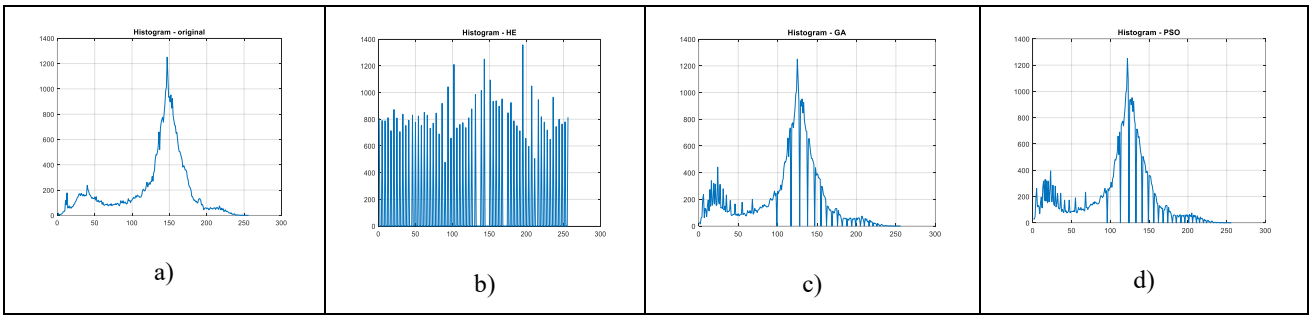
4. ANALIZA REZULTATA

Analizom rezultata prikazanih u tabelama I i II može se primetiti da je:

a) Greška MSE najveća kod HE metode, a najmanja kod PSO
b) Strukturalna sličnost SSIM najviša kod PSO, a najmnja kod HE
c) Odnos signal šum -PSNR-najviši kod PSO, a najniži kod HE
d) Entropija najviša kod PSO (7.2964), a najmanja kod HE (5.9629)
e) Greška u osvetljenju AMBE najmanja kod PSO (107.7969), a najveća kod HE (127.0071)
f) Vreme izvršavanja najbrže kod HE (0.0138 s), a najduže kod GA (17.4308 s)



Slika 1. *a) Originalna slika S_1-Boats,*
b) HE transformisana slika,
c) GA transformisana slika,
d) PSO transformisana slika



Slika 2. *Histogram: a) originalne slike S_1-Boats,*
b) HE transformisane slike,
c) GA transformisane slike,
d) PSO transformisane slike

Tabela I *Evaluacione mere kvaliteta transformisanih slika u odnosu na originalnu sliku.*

slika	***metoda***	***MSE***	***RMS***	***SSIM***	***Entropy***	***PSNR***	***AMBE***	***Vreme(s)***	γ
S_1	HE	$1.3853*10^3$	37.2191	0.6675	5.9066	16.7155	126.8381	0.0020	
	GA	459.7939	21.4428	0.9642	7.0994	21.5052	108.2204	15.7648	1.3044
	PSO	456.2040	21.3589	0.9644	7.0991	21.5392	108.3007	15.8423	1.3030
S_2	HE	593.6474	24.3649	0.8986	5.9846	20.3955	126.9348	0.0035	
	GA	158.3743	12.5847	0.9843	7.5447	26.1340	104.9446	15.2847	1.1703
	PSO	181.5206	13.4730	0.9820	7.5406	25.5415	104.0754	14.9545	1.1836
S_3	HE	$1.1787*10^3$	34.3328	0.7842	5.9737	17.4166	126.9724	0.0104	
	GA	58.9893	7.6804	0.9948	7.4191	30.4231	104.1404	13.6565	1.0960
	PSO	73.8264	8.5922	0.9935	7.4184	29.4487	103.2430	13.8171	1.1079
S_4	HE	$1.0515*10^3$	32.4271	0.8567	5.9893	17.9127	127.0297	0.0047	
	GA	110.8644	10.5292	0.9898	7.3389	27.6829	100.4924	14.7921	1.1360
	PSO	106.7557	10.3323	0.9901	7.3378	27.8469	100.6889	14.2179	1.1331
S_5	HE	$1.8782*10^3$	43.3380	0.6613	5.9679	15.3934	127.0311	0.0049	
	GA	551.4826	23.4837	0.9592	7.0271	20.7155	87.2091	32.5741	1.3134
	PSO	390.3503	19.7573	0.9720	7.0375	22.2163	90.9116	31.1939	1.2574
S_6	HE	$1.4034*10^3$	37.4617	0.7525	5.9709	16.6591	127.1342	0.1015	
	GA	722.0225	26.8705	0.9594	7.1934	19.5453	103.2592	17.3078	1.3759
	PSO	722.0185	26.8704	0.9594	7.1934	19.5453	103.2593	13.6011	1.3758
S_7	HE	903.9115	30.0651	0.9148	5.9777	18.5695	127.0506	0.0043	
	GA	194.8021	13.9572	0.9766	7.4966	25.2349	117.3373	13.4730	0.8352
	PSO	66.8449	8.1759	0.9911	7.5355	29.8801	111.7297	13.3713	0.9002
S_8	HE	$2.3398*10^3$	48.3719	0.7461	5.9658	14.4389	127.0488	0.0045	
	GA	$2.5326*10^3$	50.3254	0.8487	7.3065	14.0951	116.1681	21.2684	1.9899
	PSO	$2.5762 *10^3$	50.7563	0.8462	7.3040	14.0210	115.7564	21.8919	2.0000
S_9	HE	795.6008	28.2064	0.8580	5.9735	19.1239	126.9798	0.0012	
	GA	246.9325	15.7141	0.9811	7.3837	24.2050	108.0204	16.9977	1.2128

	PSO	246.9351	15.7142	0.9811	7.3838	24.2050	108.0202	16.9660	1.2128
S_{10}	HE	866.9133	29.4434	0.8461	5.9189	18.7510	127.0516	0.0010	
	GA	0.8894	0.9431	0.9997	7.1128	48.6397	133.0608	13.1887	0.9890
	PSO	0.1872	0.4327	0.9999	7.1140	55.4077	131.9841	13.1586	1.0062

Tabela II *Srednje vrednosti evaluacionih mera transformisanih slika*

	MSE	**RMS**	**SSIM**	***Entropy***	**PSNR**	**AMBE**	Vreme(s)	γ
HE	$1.2397*10^3$	34.5230	0.7986	5.9629	17.5376	127.0071	0.0138	
GA	503.6751	18.3531	0.9658	7.2922	25.8181	108.2853	17.4308	1.2423
PSO	482.0843	17.5463	0.9680	7.2964	26.9652	107.7969	16.9015	1.2480

Rezultati pokazuju da PSO postiže superiorne vrednosti u metrikama kvaliteta slike, uključujući najnižu srednju kvadratnu grešku (MSE), najveći indeks strukturalne sličnosti (SSIM), najveću entropiju i najbolji odnos signal-šum (PSNR). Nasuprot tome, HE metoda se ističe brzinom obrade, ali uz značajno slabiji kvalitet. GA postiže blago smanjene performanse u odnosu na PSO.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je HE najbrža (1000xkraće vreme), ali i najmanje efektivna metoda, ima značajno lošije vrednosti u odnosu na GA i PSO. (2.5xveću grešku MSE, 17-35% lošije vrednosti SSIM, entropija i PSNR)

Metoda PSO je blago bolja u većini metrika u odnosu na GA, a vreme izvršavanja je približno isto.

GA i PSO po svim metrikama se minimalno razlikuju.

Dobijeni rezultati potvrđuju da metaheurističke metode, posebno PSO, predstavljaju efikasno rešenje za poboljšanje kontrasta i očuvanje detalja u digitalnim slikama.

Za rad u realnim sistemima preporuka je koristiti PSO metodu, jer pokazuje najbolji kompromis između efikasnosti i brzine izvršavanja.

LITERATURA

[1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2008.

[2] L. Liu, Z. Jia, J. Yang, and N. Kasabov, "A medical image enhancement method using adaptive thresholding in NSCT domain combined unsharp masking," Int. J. Imaging Syst. Technol., vol. 25, no. 3, pp. 199–205, 2015.

[3] T. Arici, S. Dikbas, and Y. Altunbasak, "A histogram modificationframework and its application for image contrast enhancement," IEEE Trans. Image Process., vol. 18, no. 9, pp. 1921-1935, Sep. 2009

[4] Y.-S. Chiu, F.-C. Cheng, and S.-C. Huang, "Efficient contrast enhancement using adaptive gamma correction and cumulative intensity distribution," in Proc. IEEE Int. Conf. Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2011, pp. 2946–2950.

[5] H. O. Ilhan, A. Elbir, G. Serbes, and N. Aydin, "The evaluation of nature-inspired optimization techniques for contrast enhancement in images: A novel software tool," J. Imaging, vol. 7, no. 11, pp. 1–15, Nov. 2021.

[6] C.-C. Chiu and C.-C. Ting, "Contrast enhancement algorithm based on gap adjustment for histogram equalization," Sensors, vol. 16, no. 6, p. 936, Jun. 2016

[7] B. A. Rivera-Aguilar, E. Cuevas, M. Pérez, O. Camarena, and A. Rodríguez "A new histogram equalization technique for contrast enhancement of grayscale images using the differential evolution algorithm," Neural Comput. Appl., vol. 36, pp. 12029–12045, Apr. 2024.

[8] N. Savić, Z, Milivojević "Performanse adaptivnog Gama korektora za popravku kvaliteta slika sa malim kontrastom" XVIII internacionalni simpozijum Infoteh Jahorina, Mart 2019.

[9] S. K. Pal and A. Ghosh, "Image segmentation using genetic algorithms," Pattern Recognition Letters, vol. 13, no. 9, pp. 701–708, 1992

[10] J. Kennedy and R. C. Eberhart, "Particle swarm optimization," in Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, 1995, pp. 1942–1948

[11] Y. Shi and R. C. Eberhart, "A modified particle swarm optimizer," in Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation, Anchorage, AK, 1998, pp. 69–73.

[12] C. H. Lee and S. S. Agaian, "Automatic image enhancement by adaptive particle swarm optimization," Journal of Electronic Imaging, vol. 17, no. 3, pp. 033011-1–033011-10, 2008.

DIPFEJK U SAJBER BEZBEDNOSTI

DEEPFAKE IN CYBERSECURITY

Milan Ristić, Mihajlo Cekić i Mihajlo Mirković

Sadržaj – Rad prikazuje kako dipfejk (video, audio, slike, tekst) postaje vektor sajber-pretnji kroz socijalni inženjering, fišing, dezinformacije i obmanu biometrije. Predlaže višeslojnu odbranu: AI detekciju (oslonjenu na skupove poput FaceForensics++/DFDC), MFA i anti-spoofing, Zero-Trust i edukaciju korisnika, uz kvantitativne metrike (precision/recall/F1). Doprinos je integrisan okvir koji spaja tehničke detektore sa organizacionim politikama i operativnom praksom.

Ključne reči: dipfejk, sajber bezbednost, detekcija, višefaktorska autentifikacija, FaceForensics++.

Abstract – This paper shows how deepfakes (video, audio, images, text) are emerging as a cyber-threat vector via social engineering, phishing, disinformation, and biometric spoofing. It proposes a layered defense: AI-based detection (leveraging datasets such as FaceForensics++/DFDC), multi-factor authentication (MFA) and anti-spoofing, Zero-Trust, and user education, with quantitative metrics (precision/recall/F1). The contribution is an integrated framework that connects technical detectors with organizational policies and operational practices.

Keywords*:* deepfake, cybersecurity, detection, multi-factor authentication, FaceForensics++.

1. UVOD

U savremenom digitalnom okruženju, granica između autentičnog i sintetičkog sadržaja postaje sve tanja. Napredak generativne veštačke inteligencije omogućio je kreiranje visoko realističnih manipulacija audio i video zapisa, poznatih kao dipfejk (eng. deepfake) [1]. Tehnologije zasnovane na dubokim neuronskim mrežama omogućavaju generisanje i modifikaciju multimedijalnog sadržaja na način koji je sve teže uočljiv ljudskim okom ili uhom [2], [3], a pojedine studije ukazuju da su AI-sintetisana lica postala praktično nerazlučiva od fotografija realnih osoba [4].

Iako dipfejk ima legitimne primene, njegov zlonamerni potencijal predstavlja značajnu pretnju sajber bezbednosti [1]. Dipfejk u socijalnom inženjeringu omogućava napade koji zloupotrebljavaju poverenje i autoritet [5], [6], dok fišing kampanje sa sintetičkim audio/video sadržajem mogu povećati uspešnost prevara [7]. Istovremeno, biometrijska autentifikacija postaje ranjiva na identitetske manipulacije [8], a širenje dezinformacija putem dipfejk sadržaja podriva društveno poverenje i stabilnost [2], [4].

Cilj ovog rada je integrisani pregled dipfejk tehnologija u kontekstu sajber bezbednosti kroz analizu pretnji i odbrambenih strategija. Rad daje teorijsku osnovu generisanja, sistematizuje vektore napada, razmatra višeslojne mehanizme odbrane i prikazuje eksperimentalnu evaluaciju sistema za detekciju. Doprinos je holistički pristup koji objedinjuje tehničke, proceduralne i edukativne aspekte zaštite od dipfejk pretnji.

Milan Ristić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milan.ristic@akademijanis.edu.rs).

Mihajlo Cekić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: ceka.mihajlo03@gmail.com).

Mihajlo Mirković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: mihajlo.mirkovic@akademiijanis.edu.rs).

2. TEORIJSKA OSNOVA

2.1. Definicija i principi generisanja

Dipfejk označava sintetički multimedijski sadržaj kreiran ili značajno modifikovan primenom algoritama dubokog učenja [1]. Osnovne arhitekture uključuju generativne suparničke mreže (GAN), autokodere (AE), transformere i difuzione modele [2], [3]. GAN arhitektura, koja se sastoji od generatora i diskriminatora u kompetitivnoj dinamici, omogućava postupno poboljšanje realističnosti generisanog sadržaja. Autokoderske arhitekture sa dekodiranjem lica omogućavaju zamenu identiteta u video zapisima, dok transformerski modeli i difuzioni pristupi omogućavaju generisanje sadržaja direktno iz tekstualnih opisa [1], [3].

2.2. Tipovi sadržaja

Deepfake sadržaji se najčešće javljaju kao video, audio, slike i tekst. Video deepfake omogućava zamenu lica ili generisanje sintetičkog lika, dok audio deepfake imitira glas i posebno je rizičan u socijalnom inženjeringu. Slikovni deepfake obuhvata AI-generisane ili izmenjene fotografije radi kompromitovanja identiteta i reputacije, a tekstualni deepfake se koristi za uverljive poruke (npr. phishing) prilagođene kontekstu komunikacije.

2.3. Društveni i bezbedonosni kontekst

Masovna dostupnost alata za kreiranje dipfejk sadržaja doprinosi viralnom širenju dezinformacija [2]. Istraživanja pokazuju da ljudi imaju ograničenu sposobnost razlikovanja autentičnog od sintetičkog sadržaja, što dovodi do erozije poverenja u digitalne medije [4]. Ova pojava ima dalekosežne posledice na demokratske procese, pravni sistem i korporativnu bezbednost.

3. DIPFEJK KAO SAJBER PRETNJA

3.1. Socijalni inženjering i BEC

Dipfejk tehnologije predstavljaju evolutivni korak u domenima socijalnog inženjeringa, omogućavajući napadačima da sa neviđenom preciznošću imitiraju žrtvu ili autoritet [5]. U kontekstu Business Email Compromise (BEC) napada, audio dipfejk omogućava kreiranje ubedljivih telefonskih poziva koji imitiraju visokorangiranog izvršnog direktora, sa ciljem autorizacije finansijskih transakcija [6]. Psihološke mehanizme autoriteta, hitnosti i poverenja napadači iskorišćavaju kroz multimodalne pristupe koji kombinuju lažne email-ove sa pratećim audio ili video "dokazima".

3.2. Fišing

Tradicionalni fišing napadi evoluiraju kroz integraciju dipfejk tehnologija [7]. Video poruke koje navodno potiču od poznatih kontakata, audio poruke sa pozivom na akciju, ili sintetizovane video konferencije predstavljaju nove vektore napada. Personalizacija napada kroz analizu društvenih mreža i generisanje sadržaja specifičnog za žrtvu značajno povećava verovatnoću uspeha.

3.3. Dezinformacije

Dipfejk video zapisi lažnih izjava političkih lidera ili kriznih situacija mogu imati trenutni uticaj na javno mnjenje i tržišta pre nego što se dezinformacija razotkrije [2], [4]. Brzina širenja sadržaja na društvenim mrežama često prevazilazi mehanizme verifikacije.

3.4. Manipulacija autentifikacijom

Biometrijska autentifikacija zasnovana na prepoznavanju lica ili glasa postaje ranjiva na napade prezentacije sintetičkih zapisa [8]. Anti-spoofing mehanizmi koji detektuju liveness pokazatelje suočavaju se sa izazovima jer kvalitet dipfejk generisanja kontinuirano raste.

4. ODBRANA OD DIPFEJK NAPADA

4.1. AI bazirana detekcija

Sistemi detekcije manipulisanog sadržaja zasnivaju se na identifikaciji artefakata koji potiču od procesa generisanja [9], [1]–[3]. Klasični pristupi koriste konvolutivne neuronske mreže (CNN) trenirane da prepoznaju nedoslednosti u prostornom domenu, kao što su nepravilnosti u teksturi kože, anomalije u treptanju očiju, ili neslaganja u osvetljenju. Moderniji pristupi uključuju XCeption arhitekturu, EfficientNet i Vision Transformers koji postižu visoke performanse na standardizovanim datasetima kao što su FaceForensics++ i DFDC [10], [11]. Međutim, generalizacija ovih modela na neviđene metode manipulacije ostaje ključni izazov [9].

4.2. Višefaktorska autentifikacija

Integracija višefaktorske autentifikacije (MFA) predstavlja kritičan odbrambeni sloj protiv dipfejk napada na identitet [12]. Kombinovanje onoga što korisnik zna (lozinka), onoga što poseduje (token), i biometrijskih karakteristika (lice, glas) značajno otežava uspešan napad. Anti-spoofing mehanizmi uključuju challenge-response protokole koji zahtevaju od korisnika da izvede specifične radnje u realnom vremenu, kao i analizu liveness indikatora kroz detekciju pulsa, mikropokreta ili dubine scene.

4.3. ZERO-TRUST arhitektura

Primena Zero-Trust principa u organizacionoj bezbednosti zasniva se na postavci da nijednom entitetu, internom ili eksternom, ne treba implicitno verovati [13]. Svaki zahtev za pristup resursima mora biti verifikovan, autentifikovan i autorizovan. Least-privilege princip ograničava potencijalnu štetu čak i u slučaju uspešnog kompromisa identiteta. Kontinuirana evaluacija poverenja kroz analizu kontekstualnih parametara (lokacija, vreme, ponašanje) omogućava detekciju anomalija koje mogu ukazivati na napad.

4.4. Edukacija korisnika

Tehnološke mere moraju biti komplementarne sa programima podizanja svesti i obuke zaposlenih. Razvijanje kritičkog pristupa digitalnom sadržaju, promocija politika verifikacije neobičnih zahteva kroz alternativne komunikacione kanale, i uspostavljanje jasnih procedura za validaciju audio/video komunikacija predstavljaju fundamentalne odbrambene mehanizme.

5. ALATI I EVALUACIJA

5.1. Alati, pristupi i dataseti

FaceForensics++ predstavlja široko korišćen dataset koji sadrži 1000 originalnih YouTube video zapisa i njihove manipulisane verzije kreirane kroz metode Deepfakes, Face2Face, FaceSwap i NeuralTextures, dostupne u različitim nivoima kompresije (raw, HQ, LQ) [10]. DFDC (Deepfake Detection Challenge) dataset sadrži više od 100.000 video klipova sa raznovrsnim manipulacijama i predstavlja benchmark za evaluaciju robusnosti detektora [11]. Ograničenja ovih dataseta uključuju nedovoljnu raznovrsnost u pogledu etničke pripadnosti, starosne distribucije i scenarija snimanja, što utiče na sposobnost generalizacije treniranih modela [9].

5.2. Metrike evaluacije

Performanse sistema detekcije se evaluiraju kroz standardne metrike klasifikacije. Preciznost (Precision) meri udeo tačno identifikovanih manipulacija među svim pozitivnim predikcijama, Recall (Odziv) meri udeo detektovanih manipulacija među svim stvarnim manipulacijama, dok F1 skor predstavlja harmonijsku sredinu ove dve metrike:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP'} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN'} \quad (2)$$

$$F1 = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (3)$$

gde je TP broj tačno pozitivnih, FP broj lažno pozitivnih, a FN broj lažno negativnih predikcija.

Nakon definisanja evaluacionog okvira i metrika (precision, recall i F1-score), potrebno je empirijski proveriti kako izabrani detekcioni pristup funkcioniše na reprezentativnom skupu podataka. U tom cilju, sproveden je kontrolisani eksperiment na standardnom benchmark dataset-u FaceForensics++ (C23), uz primenu XCeption arhitekture i evaluaciju na video-nivou. Naredni odeljak prikazuje postavku eksperimenta, podelu podataka, rezultate treniranja i kvantitativnu procenu performansi na test skupu.

5.3. Eksperimentalni rezultati

U cilju empirijske provere efikasnosti modela za detekciju dipfejk sadržaja, sproveden je eksperiment na benchmark skupu FaceForensics++ (C23) u Google Colab okruženju sa CUDA akceleracijom. Performanse su vrednovane metrikama accuracy, precision, recall i F1-score na nivou video zapisa, što je relevantnije za realne scenarije (jedna odluka po videu) u odnosu na evaluaciju po frejmovima.

Preprocesiranje je obuhvatilo ekstrakciju frejmova pri 3 fps sa maksimumom od 16 frejmova po videu, detekciju i isecanje regiona lica (face-cropping) i normalizaciju ulaza. Skup podataka je podeljen na train/validation/test skupove uz kontrolu raspodele klasa kako bi se umanjio rizik pristrasnosti.

Tabela I *Rezultati evaluacije na skupovima podataka*

Skup	#video (ukupno)	#REAL (video)	#FAKE (video)	#frejmova (ukupno)	#REAL (frejm)	#FAKE (frejm)
Train	497	196	301	7952	3136	4816
Val	194	67	127	3104	1072	2032
Test	209	73	136	3344	1168	2176

Kao detektor je korišćena XCeption arhitektura, često primenjivana u detekciji manipulisanih lica zbog sposobnosti ekstrakcije lokalnih vizuelnih karakteristika. Treniranje je sprovedeno do 10 epoha uz early stopping prema validacionom F1-score, pri čemu je najbolji model zabeležen u epohi 4 (maksimalni validacioni F1), nakon čega se uočavaju oscilacije tipične za početak pretreniranosti.



Slika 1. *Tok treniranja: Train F1 i Val F1 po epohama*

U evaluaciji je inferencija inicijalno vršena na nivou frejmova, a zatim agregirana na nivou video zapisa metodom aritmetičke sredine (mean aggregation), tj. video je klasifikovan na osnovu prosečne verovatnoće klase „FAKE“ preko analiziranih frejmova. Za treniranje je korišćeno do 16 frejmova po videu radi efikasnosti, dok je u inferenciji analizirano do 91 frejm radi stabilnije odluke.

Kvantitativni rezultati najboljeg validacionog modela i performanse na test skupu prikazani su u Tabeli II. Model postiže F1 = 0.8731 na validacionom skupu (najbolji checkpoint), dok na test skupu ostvaruje F1 = 0.8129, uz recall = 0.9265 i precision = 0.7241. Visok recall ukazuje na nisku stopu propuštenih dipfejk uzoraka, što je u bezbednosnom kontekstu poželjno, dok niža preciznost implicira veći broj lažno pozitivnih detekcija i potrebu za dodatnom verifikacijom u operativnoj primeni.

Tabela II *Rezultati detekcije na validacionom i test skupu*

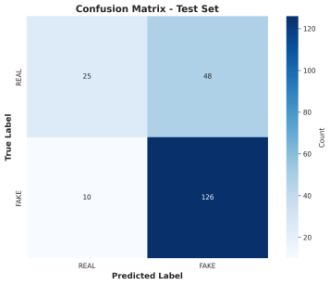
Skup	Accuracy	Precision	Recall	F1
Val	0.8247	0.8298	0.9213	0.8731
Test	0.7225	0.7241	0.9265	0.8129

Rezultati pokazuju da je model postigao F1 = 0.8731 na validacionom skupu (najbolji checkpoint), dok na test skupu ostvaruje F1 = 0.8129 uz recall = 0.9265 i precision = 0.7241. Ovakav odnos metrika ukazuje na to da je sistem izraženije orijentisan ka minimizovanju propuštenih dipfejk uzoraka (visok recall), što je u bezbednosnom kontekstu često poželjno, jer „neotkriven“ dipfejk može izazvati ozbiljne posledice (npr. uspešan napad socijalnog inženjeringa ili kompromitovanje autentifikacije). S druge strane, niža preciznost implicira povećan broj lažno pozitivnih detekcija, što u operativnim uslovima može dovesti do dodatnog opterećenja procesa verifikacije (npr. ručna provera sadržaja ili eskalacija incidenta).



Slika 2. *Stubičasti prikaz (Accuracy, Precision, Recall, F1) za test skup*

Konfuziona matrica na test skupu potvrđuje navedeno: broj propuštenih dipfejk uzoraka je nizak (FN = 10), dok je broj lažno pozitivnih detekcija veći (FP = 48). To znači da je model osetljiv na signale manipulacije, ali u pojedinim slučajevima pogrešno označava REAL sadržaj kao FAKE, što može biti posledica kvaliteta videa, kompresije i varijabilnosti snimaka.



Slika 3. *Konfuziona matrica (test skup, video-nivo)*

Dodatno, izvršena je inferencija na jednom video zapisu izvan trening skupa, gde je model predvideo klasu „FAKE“ sa pouzdanošću 61.14% (91 analizirani frejm). Ovaj primer pokazuje praktičnu upotrebljivost sistema, jer pored binarne odluke obezbeđuje i skor pouzdanosti koji može služiti za definisanje pragova za automatsku blokadu ili eskalaciju na ručnu proveru.

Eksperiment pokazuje da XCeption pipeline zasnovan na frejmovima može postići solidne rezultate na standardnom benchmark okruženju, ali odnos precision/recall i struktura grešaka ukazuju da je za praktičnu primenu potrebno uvesti dopunske mehanizme (npr. pragove, verifikaciju i višeslojne kontrole) kako bi se smanjio broj lažnih alarma uz zadržavanje visoke detekcije manipulacija.

5.4. Poređenje

Evaluacija u ovom radu sprovedena je na FaceForensics++ (C23) benchmark skupu i zasniva se na metrikama na nivou video zapisa. Ipak, literatura ukazuje da se performanse detektora mogu značajno promeniti u realnim uslovima usled kompresije video sadržaja (npr. prilikom otpremanja na društvene mreže), jer kompresioni artefakti i gubitak finih detalja umanjuju vidljivost tragova manipulacije. Zbog toga modeli koji ostvaruju visoke vrednosti precision/recall/F1 u kontrolisanim uslovima često beleže pad tačnosti na jače kompresovanim ili “in-the-wild” sadržajima, što predstavlja jedan od ključnih izazova generalizacije [9], [2], [3]. U okviru ovog rada uticaj različitih nivoa kompresije nije dodatno kvantifikovan, već se zaključci o tom efektu oslanjaju na nalaze iz literature; sistematsko testiranje pri više nivoa kompresije predstavlja pravac budućeg rada.

6. DISKUSIJA

Rezultati eksperimenta na FaceForensics++ (C23) pokazuju da XCeption model može postići solidne performanse detekcije na nivou video zapisa. Uočava se visok recall, što je korisno u bezbednosnom kontekstu jer smanjuje verovatnoću da deepfake sadržaj prođe neotkriven. Istovremeno, niži precision i veći broj lažno pozitivnih detekcija ukazuju da bi u operativnoj primeni bilo potrebno uvesti dodatne korake verifikacije (npr. ručna provera sumnjivih slučajeva ili kombinovanje više signala).

Benchmark evaluacija omogućava poređenje modela u kontrolisanim uslovima, ali ne garantuje jednaku robusnost na sadržajima iz realnog okruženja. Literatura ističe da kompresija, razlike domena i brz razvoj generativnih modela mogu dovesti do pada performansi detektora, zbog čega se preporučuje kontinuirano ažuriranje modela i integracija tehničkih i organizacionih mera zaštite [2], [3], [9].

7. ZAKLJUČAK

Ovaj rad je razmotrio dipfejk tehnologije kao rastuću sajber pretnju i sistematizovao ključne vektore napada: socijalni inženjering, fišing, dezinformacije i napade na biometrijsku autentifikaciju. Predstavljene su odbrambene strategije koje obuhvataju AI detekciju, višefaktorsku autentifikaciju, Zero Trust politike i edukaciju korisnika. Eksperimentalna evaluacija XCeption modela na FaceForensics++ skupu pokazuje dobre rezultate u kontrolisanim uslovima, uz uočene izazove generalizacije i robusnosti pri promeni uslova primene.

Integrisani pristup koji kombinuje tehničke, proceduralne i ljudske mere ostaje ključan za smanjenje rizika od dipfejk zloupotreba. Budući rad treba usmeriti na multimodalnu detekciju, adaptivne (continual learning) pristupe i realističnije benchmark-ove, uz paralelno jačanje pravnih i regulatornih okvira za odgovornost i sankcionisanje zloupotreba.

LITERATURA

[1] A. Khalid et al., “A Survey on Deepfake: Technology, Detection, and Impact,” IEEE Access, vol. 9, 2021.

[2] L. Verdoliva, “Media Forensics and Deepfakes: An Overview,” IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, vol. 14, no. 5, pp. 910–932, 2020.

[3] Y. Mirsky and W. Lee, “The Creation and Detection of Deepfakes: A Survey,” ACM Computing Surveys, vol. 54, no. 1, art. 7, 2021.

[4] S. J. Nightingale and H. Farid, “AI-synthesized faces are indistinguishable from real faces and more trustworthy,” Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 119, no. 8, e2120481119, 2022.

[5] Z. Wang, H. Zhu, P. Liu, and L. Sun, “Social engineering in cybersecurity: a domain ontology and knowledge graph application examples,” Cybersecurity, vol. 4, art. 31, 2021. [Online]. Dostupno: https://cybersecurity.springeropen.com/articles/10.1186/s42400-021-00094-6.

[6] S. A. Buo, “An application of cyberpsychology in business email compromise,” arXiv preprint arXiv:2011.11112, 2020. [Online]. Dostupno: https://arxiv.org/abs/2011.11112.

[7] R. Zieni, L. Massari, and M. C. Calzarossa, “Phishing or Not Phishing? A Survey on the Detection of Phishing Websites,” IEEE Access, vol. 11, 2023. [Online]. Dostupno: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3247135.

[8] S. He, Y. Lei, Z. Zhang, Y. Sun, S. Li, C. Zhang, and J. Ye, “Identity Deepfake Threats to Biometric Authentication Systems: Public and Expert Perspectives,” arXiv preprint arXiv:2506.06825, 2025. [Online]. Dostupno: https://arxiv.org/abs/2506.06825.

[9] L. Y. Gong and X. J. Li, “A Contemporary Survey on Deepfake Detection: Datasets, Algorithms, and Challenges,” Electronics, vol. 13, art. 585, 2024. [Online]. Dostupno: https://doi.org/10.3390/electronics13030585.

[10] A. Rössler, D. Cozzolino, L. Verdoliva, C. Riess, J. Thies, and M. Nießner, “FaceForensics++: Learning to Detect Manipulated Facial Images,” in Proc. IEEE/CVF Int. Conf. Computer Vision (ICCV), 2019.

[11] B. Dolhansky et al., “The Deepfake Detection Challenge (DFDC) Dataset,” arXiv preprint arXiv:2006.07397, 2020. [Online]. Dostupno: https://arxiv.org/abs/2006.07397

[12] S. Manohar and B. S. Manohar, “Multifactor Authentication for Smart Grid Cyber Security,” in Computer Communication, Networking and IoT, V. Bhateja et al., Eds. Singapore: Springer, 2021, pp. 537–547. [Online]. Dostupno: https://doi.org/10.1007/978-981-16-0980-0_52

[13] B. D. Lund, T.-H. Lee, Z. Wang, T. Wang, and N. R. Mannuru, “Zero Trust Cybersecurity: Procedures and Considerations in Context,” Encyclopedia, vol. 4, no. 4, pp. 1520–1533, 2024. [Online]. Dostupno: https://doi.org/10.3390/encyclopedia4040099

[14] M. Ristić, “Deepfake Detection Colab - Google Colab,” Google Colaboratory notebook, 2025. [Online]. Dostupno: https://colab.research.google.com/drive/1OcgrXQl_kmkZVs9Wr01_iIZa_fdIZkUU?usp=sharing. [Pristupljeno: 23-Dec-2025].

UPOREDNA ANALIZA HASH FUNKCIJA U KONTEKSTU ETHERCHANNEL LOAD BALANCING-A

COMPARATIVE ANALYSIS OF HASH FUNCTIONS IN THE CONTEXT OF ETHERCHANNEL LOAD BALANCING

Dušan Stefanović i Goran Milosavljević

Sadržaj – Ovaj rad se bavi kvantitativnom analizom performansi različitih hash funkcija (XOR, CRC16 i CRC32) koje se koriste za raspodelu saobraćaja u okviru *EtherChannel* load balancing mehanizama. Cilj istraživanja je identifikacija hash funkcije koja obezbeđuje najuniformniju raspodelu paketa na fizičke portove u realnim uslovima rada. Testiranje je sprovedeno kroz simulator koji generiše saobraćaj u četiri različita scenarija (*many-to-one, one-to-many, bus model* i *burst* scenario) sa 1.000, 10.000 i 100.000 paketa na osam portova. Korišćene su metrike poput standardne devijacije, koeficijenta varijacije, Jain Fairness Index-a, imbalance ratio i chi-square testa za objektivnu procenu efikasnosti algoritma.

Ključne reči: *EtherChannel*, *hash* funkcije, *load balancing*, mrežne performanse, distribucija saobraćaja.

Abstract – This paper presents a quantitative analysis of the performance of different hash functions (XOR, CRC16, and CRC32) used for traffic distribution within EtherChannel load-balancing mechanisms. The objective of the study is to identify the hash function that provides the most uniform packet distribution across physical ports under real-world operating conditions. The evaluation was conducted using a simulator that generates traffic in four distinct scenarios (many-to-one, one-to-many, bus model, and burst scenario) with 1,000, 10,000, and 100,000 packets distributed across eight ports. Performance was assessed using metrics such as standard deviation, coefficient of variation, Jain's Fairness Index, imbalance ratio, and the chi-square test to enable an objective evaluation of algorithm efficiency.

Keywords: EtherChannel, hash functions, load balancing, network performance, traffic distribution.

1. UVOD

EtherChannel tehnologija, poznata i kao *Link Aggregation Control Protocol (LACP)* prema *IEEE 802.1AX* standardu [1], omogućava logičko povezivanje više fizičkih veza između mrežnih uređaja u jednu logičku vezu. Ova tehnologija povećava ukupnu propusnost, obezbeđuje redundantnost i toleranciju na greške, što je ključno u savremenim mrežnim infrastrukturama.

Osnovni izazov u implementaciji *EtherChannel* veze predstavlja efikasna distribucija saobraćaja (*load balancing*) na raspoložive fizičke portove. Neadekvatna distribucija može dovesti do neravnomerne iskorišćenosti resursa, uskih grla i degradacije ukupnih performansi sistema [2-4].

2. UTICAJ HASH FUNKCIJA NA UNIFORMNOST DISTRIBUCIJE SAOBRAĆAJA

Efikasna distribucija mrežnog saobraćaja u *EtherChannel*-u oslanja se na hash funkcije za određivanje preko koje fizičke veze će se poslati određeni tok podataka. Fokus je na kvantitativnoj analizi tri standardne hash funkcije: XOR, CRC16 i CRC32, u kontekstu uniformne distribucije saobraćaja na portove [5].

Dušan Stefanović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: dusan.stefanovic@akademijanis.edu.rs).

Goran Milosavljević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, Beogradska 18, 18000 Niš (imejl: goran.milosavljevic@akademijanis.edu.rs).

Istraživački problem se odnosi na identifikaciju hash funkcije koja obezbeđuje najuniformniju raspodelu paketa na fizičke portove *EtherChannel*-a u realnim uslovima rada. Uniformna distribucija direktno doprinosi boljem iskorišćenju kapaciteta agregirane veze, optimizuje ukupnu propusnost veze i smanjuje rizik od zagušenja na pojedinačnim portovima.

Uprkos širokoj upotrebi hash funkcija u *EtherChannel* implementacijama, postoji značajan nedostatak sistematskog, kvantitativnog poređenja njihovih performansi u različitim scenarijima saobraćaja. Postojeća literatura se primarno fokusira na teoretske aspekte ili ograničene empirijske studije koje ne pokrivaju sveobuhvatan spektar realnih uslova korišćenja.

3. SIMULACIONO OKRUŽENJE

Istraživanje je sprovedeno korišćenjem simulatora koji generiše paketski saobraćaj u četiri različita scenarija:

1. ***Many-to-one***: Više klijenata iz različitih mreža komunicira sa jednim serverom;
2. ***One-to-many***: Jedan uređaj komunicira sa više odredišta;
3. ***Bus Model***: Više međusobno povezanih uređaja;
4. ***Burst Scenario***: Više identičnih izvora šalje podatke različitim odredištima u kratkom vremenskom periodu.

U svakom scenariju, distribucije saobraćaja su testirane sa 1.000, 10.000 i 100.000 paketa. Broj portova u *EtherChannel*-u je postavljen na osam, što predstavlja tipičnu konfiguraciju u korporativnim okruženjima.

4. METRIKE EVALUACIJE

Za objektivnu procenu uniformnosti distribucije korišćen je sveobuhvatan skup metrika:

Standardna devijacija (σ)

Meri raspršenost podataka oko srednje vrednosti. Manja vrednost ukazuje na uniformniju distribuciju:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \mu)^2} \quad (1)$$

gde je n broj paketa, X_i broj paketa na portu i, a μ prosečan broj paketa po portu.

Koeficijent varijacije (CV)

Predstavlja odnos standardne devijacije (σ) prema aritmetičkoj sredini (μ):

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2)$$

Jain Fairness Index (JFI)

Meri pravednost distribucije, sa vrednostima bližim 1 koje ukazuju na idealnu uniformnost među portovima:

$$JFI = \frac{(\sum_{i=1}^{n} x_i)^2}{n \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2} \quad (3)$$

Imbalance Ratio (IR)

Pokazuje razliku između najopterećenijeg i najmanje opterećenog porta u odnosu na prosečnu vrednost:

$$IR = \frac{x_{max} - x_{min}}{\mu} \quad (4)$$

Chi-square test (χ^2)

Koristi se za procenu da li su razlike u opterećenju portova statistički značajne u odnosu na očekivanu (idealnu) distribuciju:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(X_i - \mu)^2}{\mu} \quad (5)$$

5. REZULTATI I ANALIZA

Rezultati u svim scenarijina pokazuju superiornost CRC32 algoritma u pogledu uniformnosti distribucije, sa najnižim koeficijentom varijacije i najvišim Jain Fairness Index-om.

Tabela I *Prosečne performanse hash algoritma kroz testirane scenarije*

Algoritam	*CV (μ ± σ)*	*Jain Fairness (μ ± σ)*	*Imbalance Ratio (μ ± σ)*	*Uniformity Score (μ ± σ)*
CRC32	*0.0202 ± 0.0284*	*0.9994 ± 0.0015*	*0.0098 ± 0.0134*	*0.9994 ± 0.0015*
XOR	*0.0620 ± 0.0672*	*0.9960 ± 0.0072*	*0.0289 ± 0.0315*	*0.9960 ± 0.0072*
CRC16	*0.3390 ± 0.3273*	*0.9108 ± 0.1129*	*0.1584 ± 0.1534*	*0.9108 ± 0.1129*

***Many-to-one* scenario**: CRC32 je pokazao najbolje performanse sa minimalnim varijacijama u distribuciji paketa između portova. XOR je imao prihvatljive rezultate, dok je CRC16 pokazao najveće varijacije.

***One-to-many* scenario**: Svi algoritmi su pokazali relativno dobre performanse, ali CRC32 je zadržao prednost u uniformnosti distribucije.

***Bus* model**: Kompleksniji scenario je favorizovao CRC32, dok su XOR i CRC16 pokazali značajnije nebalansiranosti.

***Burst* scenario**: Najzahtevniji scenario je jasno izdvojio CRC32 kao superioran algoritam, sa XOR-om koji je pokazao najslabije performanse.

6. ZAKLJUČAK

Doprinos ovog rada leži u kvantitativnoj uporednoj analizi tri hash funkcija kroz više evaluacionih dimenzija i razvoju alata za buduće testiranje mrežnih simulacija. Rezultati imaju praktičnu primenu u optimizaciji mrežnih performansi za *EtherChannel* implementacije u korporativnim i telekom okruženjima.

Istraživanje je pokazalo da je CRC32 optimalan izbor ukoliko okruženje dozvoljava upotrebu složenijih funkcija, zbog svoje konstantne efikasnosti u uniformnoj distribuciji opterećenja. Algoritam je pokazao superiornost u svim testiranim scenarijima, sa značajno boljim performansama u kompleksnijim distribucijama saobraćaja.

Istraživanje je pokazalo i važnost izbora hash funkcija na osnovu hardverske podrške i performansi u realnom vremenu. Jednostavniji algoritmi ostaju relevantni zbog svoje brzine izvršavanja, što je kritično u okruženjima sa visokim protokom podataka (*high-throughput)*.

LITERATURA

[1] IEEE 802.1AX-2022 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Link Aggregation. Institute of Electrical and Electronics Engineers (2022).

[2] Cisco IOS Configuration Fundamentals Configuration Guide: EtherChannel and Link Aggregation. Cisco Press (2024).

[3] Peterson, L. L., & Davie, B. S., Computer Networks: A Systems Approach (7th ed.). Morgan Kaufmann Publishers. pp. 234-267 (2025).

[4] Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J., Computer Networks (7th ed.). Pearson Education. Chapter 4: The Medium Access Control Sublayer (2025).

[5] Zhang, H., Liu, M., & Wang, S., Hash-based load balancing algorithms for high-speed networks: A comprehensive survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 26(3), 1842-1867.

AUTOMATIZOVANI PYTHON FRAMEWORK ZA WEB SCRAPING I ANALITIKU PODATAKA

AUTOMATED PYTHON FRAMEWORK FOR WEB SCRAPING AND DATA ANALYTICS

Slavimir Stošović i Nikola Vukotić

Sadržaj – Eksponencijalni rast količine podataka na internetu doneo je istovremeno i prilike i izazove za organizacije i istraživače koji nastoje da izvuku relevantne informacije sa veba. U ovom radu predstavljen je integrisani pristup automatizovanom prikupljanju veb podataka i njihovoj analizi, pri čemu je programski jezik Python korišćen kao centralna tehnologija. Prvi segment istraživanja usmeren je na automatizaciju akvizicije podataka sa različitih veb izvora korišćenjem tehnika HTML parsiranja i strukturisanog prikupljanja podataka putem API-ja. Drugi segment rada bavi se analizom prikupljenih skupova podataka primenom tehnika za obradu prirodnog jezika i vizualizaciju. Kao studija slučaja, razvijena je aplikacija za analizu sentimenta diskusija o kriptovalutama na platformi Reddit, koja demonstrira praktičnu primenu predloženog okvira.

Ključne reči: Python, web scraping, analiza sentimenta, Reddit API, vizualizacija podataka.

Abstract – The exponential growth of data on the internet has brought both opportunities and challenges for organizations and researchers seeking to extract relevant information from the web. This paper presents an integrated approach to automated web data collection and analysis, using Python as the central technology. The first segment focuses on automating data acquisition from various web sources using HTML parsing techniques and structured data collection via APIs. The second segment deals with the analysis of collected datasets through natural language processing and visualization techniques. As a case study, an application for sentiment analysis of cryptocurrency discussions on Reddit platform was developed, demonstrating the practical application of the proposed framework.

Keywords: Python, web scraping, sentiment analysis, Reddit API, data visualization.

1. UVOD

U savremenom digitalnom dobu, internet predstavlja neiscrpan izvor podataka koji se svakodnevno generiše i akumulira. Prema dostupnim istraživanjima, dnevno se na internetu generiše preko 2,5 kvintiliona bajtova podataka, pri čemu značajan udeo čine korisnički generisani sadržaji na društvenim mrežama [1]. Pojava i globalizacija interneta kao medijuma za efikasnu razmenu podataka značajno je ubrzala porast vrednosti samih informacija. Iako su podaci dostupni u velikim količinama, oni su često nestrukturisani, heterogeni i teško dostupni bez upotrebe specijalizovanih alata.

Web scraping predstavlja tehniku automatizovanog prikupljanja podataka sa veb stranica koja omogućava transformaciju nestrukturisanog sadržaja u strukturisane skupove podataka pogodne za dalju analizu [2]. Pored direktnog parsiranja *HTML* sadržaja, značajan izvor strukturisanih podataka predstavljaju i *REST API* interfejsi koje nude moderne veb platforme [3]. Ove tehnike nalaze primenu u brojnim oblastima kao što su istraživanje tržišta, praćenje cena konkurencije, analiza ponašanja korisnika i praćenje trendova na društvenim mrežama.

U kontekstu finansijskih tržišta, analiza sentimenta na društvenim mrežama postala je važan alat za razumevanje stavova investitora i predviđanje tržišnih trendova.

Slavimir Stošović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: slavimir.stosovic@akademijanis.edu.rs).

Nikola Vukotić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: nikola.vukotic@akademijanis.edu.rs).

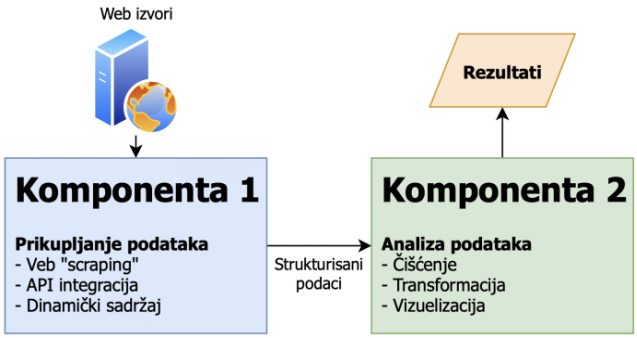
Istraživanja pokazuju da postoji korelacija između sentimenta izraženog na platformama poput *Twitter*-a i *Reddit*-a i kretanja cena finansijskih instrumenata, uključujući kriptovalute [4]. Ovo je posebno relevantno za tržište kriptovaluta koje karakteriše visoka promenljivost i snažan uticaj javnog mnjenja na cene.

Python, kao programski jezik visokog nivoa poznat po svojoj jednostavnosti i velikim brojem biblioteka, predstavlja idealan izbor za implementaciju rešenja za prikupljanje i analizu veb podataka [5]. Prednosti *Python*-a uključuju jednostavnu sintaksu, veliku zajednicu i robusne biblioteke za web scraping poput *BeautifulSoup* [6] i *Selenium* [7], kao i moćne alate za analizu podataka poput *Pandas* i *NumPy* [8].

Cilj ovog rada je predstavljanje integrisanog pristupa koji objedinjuje automatizovano prikupljanje veb podataka i njihovu analizu u jedinstven okvir. Kao demonstracija praktične primene, razvijena je aplikacija za analizu sentimenta diskusija o kriptovalutama na platformi *Reddit*.

2. METODOLOGIJA

Predloženi sistem zasniva se na modularnoj arhitekturi sa dve osnovne komponente: komponentom za prikupljanje podataka i komponentom za analizu i vizualizaciju. Modularna arhitektura koja je prikazana na slici 1 obezbeđuje skalabilnost, ponovnu upotrebljivost i preglednost procesa.



Slika 1. *Arhitektura sistema sa dva osnovna segmenta: prikupljanje podataka i njihova analiza*

Komponenta za prikupljanje podataka obuhvata module koji transformišu sirovi veb sadržaj u strukturisane formate. Za prikupljanje podataka sa statičkih stranica koristi se biblioteka *BeautifulSoup* koja omogućava parsiranje *HTML* dokumenata i ekstrakciju informacija na osnovu strukture *DOM* stabla [6]. Za dinamičke stranice koje koriste *JavaScript* za generisanje sadržaja, primenjuje se *Selenium* koji simulira interakciju korisnika sa veb pregledačem [7]. Za pristup podacima putem programskih interfejsa koriste se specijalizovani *API* omotači poput *PRAW* biblioteke za *Reddit* [9].

Komponenta za analizu podataka uključuje module za obradu prirodnog jezika koji omogućavaju analizu sentimenta korišćenjem *TextBlob* biblioteke [10], kao i module za vizualizaciju koji prezentuju rezultate kroz interaktivne grafičke prikaze korišćenjem *Plotly* i *Dash* biblioteka [11].

3. IMPLEMENTACIJA

3.1 Reddit kao izvor podataka

Za demonstraciju predloženog okvira odabrana je platforma *Reddit*, poznata kao „prednja stranica interneta". *Reddit* predstavlja zajednicu vođenu platformu organizovanu kroz tematske oblasti nazvane podrediti (engl. subreddits) [12].

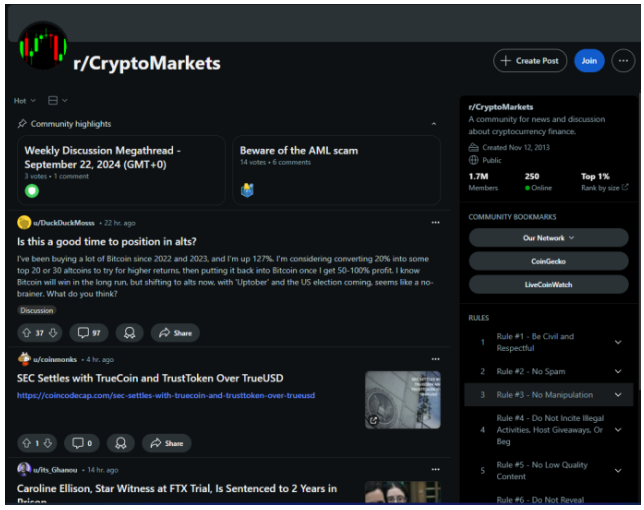
Platforma poseduje karakteristike koje je čine pogodnom za analizu javnog mnjenja: organizacija kroz podredite omogućava ciljano prikupljanje podataka, sistem glasanja reflektuje stavove zajednice, a anonimnost korisnika podstiče otvoreno izražavanje mišljenja.

Na Slici 2 prikazan je tipičan izgled podredita posvećenog kriptovalutama. Interfejs *Reddit* platforme organizovan je tako da svaki post sadrži nekoliko ključnih elemenata koji se ekstrahuju tokom procesa prikupljanja podataka:

- Naslov posta – predstavlja glavni tekstualni sadržaj koji se analizira i često sadrži ključne informacije o temi diskusije, kao i emocionalno obojene izraze koji utiču na rezultat analize sentimenta;
- Tekstualni sadržaj – detaljniji opis ili pitanje koje autor postavlja, pruža dodatni kontekst za analizu;
- Sistem glasanja – numerička vrednost koja reflektuje stav zajednice prema objavi, pri čemu pozitivniji sadržaji obično imaju veći broj glasova;
- Vremenska oznaka – omogućava praćenje dinamike sentimenta kroz vreme i identifikaciju perioda povećane aktivnosti;
- Broj komentara – indikator angažovanosti zajednice na određenu temu.

Ovako strukturisani elementi omogućavaju sistematsko prikupljanje podataka putem *Reddit API*-ja, pri čemu se naslov i tekstualni sadržaj koriste kao ulazni podaci za analizu sentimenta, dok vremenska oznaka omogućava agregaciju rezultata po danima ili drugim vremenskim intervalima.

Za pristup *Reddit API*-ju korišćena je *PRAW* (engl. Python Reddit API Wrapper) biblioteka koja omogućava autentifikovano povezivanje i preuzimanje postova sa specifičnih podredita. Prikupljeni podaci uključuju naslov posta, tekstualni sadržaj i vremensku oznaku kreiranja.



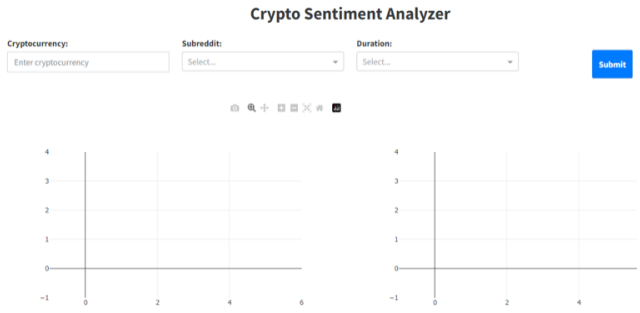
Slika 2. *Izgled jednog podredita sa podacima koji se parsiraju i analiziraju*

3.2 Analiza sentimenta

Analiza sentimenta predstavlja metod određivanja emocionalnog tona teksta koji omogućava razumevanje stavova izraženih u pisanom sadržaju [13]. Za implementaciju je korišćena *TextBlob* biblioteka koja izračunava polaritet teksta kao vrednost u opsegu od -1 do 1. Negativne vrednosti označavaju negativan sentiment, pozitivne vrednosti pozitivan sentiment, dok vrednosti blizu nule ukazuju na neutralan ton. Na osnovu izračunatog polariteta, svaki post se klasifikuje u kategorije: pozitivan, negativan ili neutralan.

3.3 Vizualizacija rezultata

Za vizualizaciju rezultata korišćene su *Plotly* i *Dash* biblioteke koje omogućavaju kreiranje interaktivnih grafičkih prikaza [11]. Razvijena aplikacija prikazuje rezultate kroz linijski grafikon dnevnih prosečnih vrednosti sentimenta i stubičasti grafikon agregiranog sentimenta za odabrani period. Integracija sa *Flask* okvirom omogućava hostovanje aplikacije i pristup korisnika putem veb interfejsa [14].



Slika 3. *Izgled glavnog ekrana aplikacije*

4. REZULTATI I DISKUSIJA

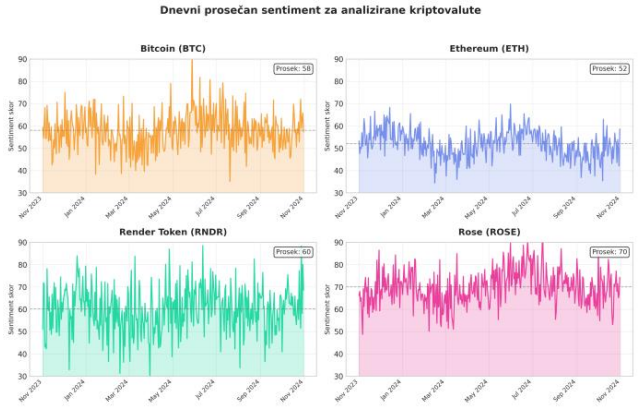
Sprovedena je analiza sentimenta za četiri kriptovalute (*Bitcoin*, *Ethereum*, *Render Token* i *Rose*) na osnovu podataka prikupljenih sa relevantnih *Reddit* podredita tokom jednogodišnjeg perioda. Rezultati analize sumirani su u Tabeli I.

Tabela I *Prosečan sentiment za analizirane kriptovalute*

Kriptovaluta	Prosečan sentiment	Karakteristika
Bitcoin (BTC)	58	Blago pozitivan, izražene fluktuacije
Ethereum (ETH)	52	Neutralan do blago pozitivan, stabilan
Render Token (RNDR)	60	Pozitivan, izraženije oscilacije
Rose (ROSE)	70	Izrazito pozitivan, rastući trend

Prosečan sentiment za sve analizirane kriptovalute kreće se u rasponu od 52 do 70, što ukazuje na generalno neutralan do pozitivan stav *Reddit* zajednice prema kriptovalutama. Najviši prosečan sentiment zabeležen je za *Rose* (70), što sugeriše izrazito pozitivnu percepciju ove kriptovalute u analiziranom periodu. *Bitcoin* i *Render Token* pokazuju slične vrednosti prosečnog sentimenta (58 i 60), dok *Ethereum* ima najniži prosek (52) koji je najbliži neutralnoj vrednosti.

Na Slici 4 prikazan je dnevni prosečan sentiment za sve četiri analizirane kriptovalute tokom jednogodišnjeg perioda. Grafikoni omogućavaju uvid u dinamiku promene sentimenta kroz vreme i identifikaciju karakterističnih obrazaca.



Slika 4. *Dnevni prosečan sentiment za analizirane kriptovalute*

Analiza za *Bitcoin* pokazuje izražene fluktuacije sentimenta sa vrednostima koje variraju u širokom opsegu. Početkom analiziranog perioda sentiment je imao tendenciju rasta, dostigavši vrhunac početkom 2024. godine, nakon čega je usledio pad. Ovakve oscilacije mogu biti povezane sa promenama cena na tržištu i medijskom pokrivenošću.

Ethereum pokazuje stabilniji obrazac sa manjim oscilacijama oko neutralne vrednosti. Sentiment se kreće u užem opsegu (48-56), što sugeriše konzistentniji stav zajednice prema ovoj kriptovaluti. Blagi pad primećen je tokom letnjih meseci 2024. godine.

Render Token karakterišu izraženije oscilacije slične Bitcoin-u, ali sa generalno višim prosečnim vrednostima. Najveći rast sentimenta primećen je u prvom kvartalu 2024. godine.

Rose beleži najviši prosečan sentiment sa izraženim rastućim trendom tokom analiziranog perioda. Od novembra 2023. godine uočava se kontinuirani rast pozitivnog sentimenta, sa vrhuncem u maju 2024. godine, što sugeriše rastuće interesovanje i optimizam zajednice prema ovoj kriptovaluti.

4.1 Praktične implikacije

Dobijeni rezultati imaju višestruke praktične implikacije za različite zainteresovane strane. Za investitore i trgovce kriptovalutama, analiza sentimenta može služiti kao dodatni indikator pri donošenju odluka o kupovini ili prodaji. Nagli pad sentimenta može signalizirati potencijalne negativne vesti ili gubitak poverenja zajednice, dok rastući sentiment može ukazivati na povećano interesovanje i potencijalni rast cene.

Razlike u sentimentu između analiziranih kriptovaluta mogu se objasniti različitim faktorima. *Ethereum*, kao etablirana platforma sa stabilnom zajednicom, pokazuje manje oscilacije jer su očekivanja korisnika ujednačenija. S druge strane, novije kriptovalute poput *Rose* privlače entuzijaste koji su skloniji optimističnim prognozama, što rezultira višim prosečnim sentimentom. *Bitcoin*, kao najpoznatija kriptovaluta, privlači najveću pažnju medija, što dovodi do izraženijih reakcija zajednice na vesti i događaje.

Razvijeni okvir može se primeniti i u drugim domenima, uključujući praćenje reputacije brendova, analizu reakcija na lansiranje proizvoda, praćenje političkog raspoloženja ili monitoring zadovoljstva korisnika uslugama.

4.2 Ograničenja istraživanja

Implementacija se suočava sa nekoliko ograničenja. *TextBlob* se oslanja na jednostavne modele za prepoznavanje sentimenta i ima ograničene mogućnosti u prepoznavanju sarkazma, ironije ili žargona specifičnog za zajednicu, što može uzrokovati pogrešne interpretacije [10]. *Reddit API* ima ograničenja u pogledu broja zahteva u određenom vremenskom periodu, što može ograničiti obim prikupljenih podataka. Dodatno, oslanjanje na jednu platformu može značiti da su stavovi izraženi na drugim društvenim mrežama zanemareni.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je integrisani pristup automatizovanom prikupljanju veb podataka i njihovoj analizi korišćenjem *Python* programskog jezika. Demonstrirana je praktična primena kroz razvoj aplikacije za analizu sentimenta diskusija o kriptovalutama na platformi *Reddit*.

Predložena modularna arhitektura pokazala se efikasnom za transformaciju nestrukturisanog veb sadržaja u upotrebljive uvide. Rezultati analize pokazuju da se sentiment prema analiziranim kriptovalutama kreće u rasponu od neutralnog do pozitivnog, sa značajnim fluktuacijama koje mogu pružiti korisne informacije investitorima i analitičarima.

Budući rad biće usmeren na primenu naprednijih modela za obradu prirodnog jezika poput *BERT* arhitekture, integraciju podataka sa više platformi društvenih medija, kao i uključivanje modela mašinskog učenja za prediktivnu analitiku.

LITERATURA

[1] D. Reinsel, J. Gantz, and J. Rydning, "The Digitization of the World – From Edge to Core," IDC White Paper, 2018.

[2] R. Lawson, Web Scraping with Python: Collecting More Data from the Modern Web, 2nd ed. O'Reilly Media, 2018.

[3] M. Masse, REST API Design Rulebook. O'Reilly Media, 2011.

[4] M. Ante, "How Elon Musk's Twitter activity moves cryptocurrency markets," Technological Forecasting and Social Change, vol. 186, 2023.

[5] M. Lutz, Learning Python: Powerful Object-Oriented Programming, 5th ed. O'Reilly Media, 2013.

[6] L. Richardson, "Beautiful Soup Documentation," 2024. [Online]. Dostupno: https://www.crummy.com/software/BeautifulSoup/bs4/doc/

[7] Selenium Contributors, "Selenium WebDriver," 2024. [Online]. Dostupno: https://selenium-python.readthedocs.io/

[8] W. McKinney, Python for Data Analysis, 2nd ed. O'Reilly Media, 2017.

[9] B. Halpert et al., "PRAW: The Python Reddit API Wrapper," 2024. [Online]. Dostupno: https://praw.readthedocs.io/

[10] "TextBlob Documentation," 2024. [Online]. Dostupno: https://textblob.readthedocs.io/

[11] C. Parmer, Interactive Dashboards and Data Apps with Plotly and Dash. Packt Publishing, 2021.

[12] Reddit Inc., "Reddit API Documentation," 2024. [Online]. Dostupno: https://www.reddit.com/dev/api/

[13] B. Liu, Sentiment Analysis and Opinion Mining. Morgan & Claypool Publishers, 2012.

[14] A. Grinberg, Flask Web Development, 2nd ed. O'Reilly Media, 2018.

VEB PLATFORMA ZA KOLABORACIJU AGILNIH PROJEKTNIH TIMOVA
A WEB-BASED COLLABORATION PLATFORM FOR AGILE PROJECT TEAMS

Nikola Vukotić, Slavimir Stošović i Nikola Vasiljević

Sadržaj – Ovaj rad prikazuje razvoj veb platforme za podršku kolaboraciji agilnih projektnih timova, zasnovane na *Laravel 11 PHP* radnom okviru. Platforma omogućava upravljanje timovima, komunikaciju putem sistema objava i automatsko zakazivanje sastanaka na osnovu dostupnosti članova. Ključna inovacija sistema predstavlja algoritam za automatski predlog termina sastanaka koji koristi bitovske operacije nad binarnim nizovima za efikasnu analizu dostupnosti učesnika. Implementacija obuhvata *Blade* šablonski sistem za korisnički interfejs, *Eloquent ORM* za rad sa *MySQL* bazom podataka i *Alpine.js* za interaktivnost na klijentskoj strani. Rezultati pokazuju da primena bitovskih operacija značajno ubrzava proces pronalaženja zajedničkih slobodnih termina u odnosu na konvencionalne pristupe, čime se postiže skalabilnost sistema i kod većeg broja korisnika.

Ključne reči: Laravel, PHP, veb aplikacija, kolaboracija timova, bitovske operacije, zakazivanje sastanaka.

Abstract – This paper presents the development of a web platform for supporting agile project team collaboration, based on the Laravel 11 PHP framework. The platform enables team management, communication through a post system, and automatic meeting scheduling based on member availability. The key innovation of the system is an algorithm for automatic meeting time suggestions that uses bitwise operations on binary arrays for efficient participant availability analysis. The implementation includes the Blade templating system for the user interface, Eloquent ORM for MySQL database operations, and Alpine.js for client-side interactivity. Results demonstrate that the application of bitwise operations significantly accelerates the process of finding common available time slots compared to conventional approaches, achieving system scalability even with a larger number of users.

Keywords: Laravel, PHP, web application, team collaboration, bitwise operations, meeting scheduling.

1. UVOD

Savremeni obrazovni proces sve više se oslanja na efikasnu kolaboraciju među studentima, naročito u okviru grupnih projekata i timskog rada. Razvoj informacionih tehnologija i sve širi pristup internetu omogućili su da onlajn saradnja postane neizostavan deo akademskog okruženja [1]. Tradicionalni oblici komunikacije, poput društvenih mreža, elektronske pošte ili neposrednih susreta, često se pokazuju kao nedovoljno efikasni za složene zahteve savremenog obrazovanja, što stvara potrebu za centralizovanom platformom koja omogućava formiranje timova, organizaciju sastanaka i koordinaciju aktivnosti.

Na tržištu postoji niz komercijalnih rešenja za timsku kolaboraciju, uključujući *Microsoft Teams*, *Slack* i *Google Workspace* [2]. Međutim, ova rešenja često zahtevaju plaćene licence za napredne funkcionalnosti, ne omogućavaju potpunu kontrolu nad podacima korisnika i sadrže mnoštvo funkcionalnosti koje nisu relevantne za akademski kontekst. Specijalizovani alati za zakazivanje sastanaka poput *Doodle*, *Calendly* ili *When2meet* [3] rešavaju problem pronalaženja zajedničkih termina, ali funkcionišu izolovano od platformi za timsku komunikaciju, što dovodi do fragmentacije radnog okruženja.

Nikola Vukotić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: nikola.vukotic@akademijanis.edu.rs).

Slavimir Stošović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: slavimir.stosovic@akademijanis.edu.rs).

Nikola Vasiljević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: its0225@atvssnis.edu.rs).

Motivacija za razvoj sopstvenog rešenja proizilazi iz nekoliko ključnih faktora. Prvo, obrazovne institucije često imaju ograničene budžete za licenciranje komercijalnog softvera. Drugo, postojeći alati za zakazivanje sastanaka koriste konvencionalne algoritme koji postaju neefikasni pri većem broju učesnika. Treće, potreba za integrisanom platformom koja objedinjuje upravljanje timovima, komunikaciju i zakazivanje sastanaka u jedinstvenom okruženju prilagođenom studentskim potrebama.

Veb aplikacije su u mnogim oblastima zamenile tradicionalne desktop aplikacije jer omogućavaju pristup funkcionalnostima putem internet pretraživača bez potrebe za dodatnom konfiguracijom [4]. Ovakav pristup značajno pojednostavljuje distribuciju softvera i smanjuje troškove održavanja sistema. Klijent-server arhitektura na kojoj se zasnivaju veb aplikacije omogućava veću skalabilnost i centralizovanu kontrolu nad podacima.

Laravel predstavlja jedan od najpopularnijih *PHP* okvira koji omogućava brz razvoj robusnih veb aplikacija [5]. Okvir je zasnovan na arhitekturalnom obrascu *Model-View-Controller* (*MVC*) i fokusira se na čistu sintaksu, dok rutinske zadatke poput autentifikacije, rutiranja i keširanja automatizuje. Blade šablonski sistem, koji je sastavni deo Laravel okvira, omogućava kreiranje dinamičkih korisničkih interfejsa kombinovanjem *HTML*-a sa *PHP* kodom [6].

Cilj ovog rada jeste prikazati razvoj veb platforme koja omogućava upravljanje timovima, zakazivanje sastanaka sa automatskim predlogom termina prema dostupnosti članova i komunikaciju kroz sistem objava. Ključni doprinos predstavlja algoritam za analizu dostupnosti koji koristi bitovske operacije nad binarnim nizovima, čime se postiže značajno poboljšanje performansi u odnosu na konvencionalne pristupe.

2. METODOLOGIJA

Razvoj platforme zasnovan je na *Laravel 11* radnom okviru koji implementira *MVC* arhitekturu. Model sloj odgovoran je za upravljanje podacima i poslovnim pravilima, View sloj realizovan je korišćenjem *Blade* šablonskog sistema, dok *Controller* sloj predstavlja posrednika između modela i prikaza [5].

Za perzistenciju podataka korišćen je *MySQL/MariaDB* sistem za upravljanje bazom podataka, sa *Eloquent ORM*-om koji omogućava rad sa bazom kroz objektno-orijentisani pristup [7]. *Eloquent* omogućava definisanje odnosa između modela (*one-to-many*, *many-to-many*) korišćenjem jednostavne sintakse, čime se olakšava pristup povezanim podacima.

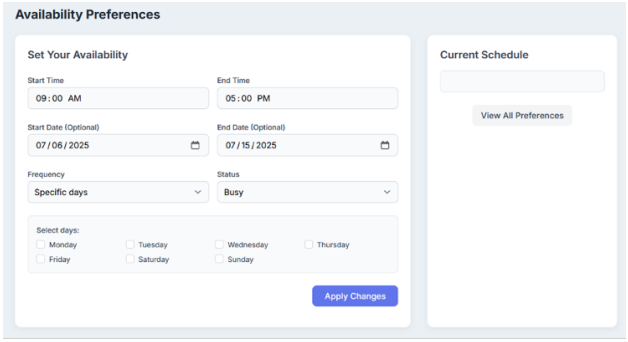
Bezbednost sistema implementirana je kroz Laravel-ove ugrađene mehanizme koji uključuju *CSRF* (*Cross-Site Request Forgery*) zaštitu za sve forme, sprečavanje *SQL* injekcija upotrebom parametrizovanih upita i heširanje lozinki *bcrypt* algoritmom [8]. *Role-based access control* (*RBAC*) sistem omogućava kontrolisanje pristupa funkcionalnostima na osnovu uloge korisnika u timu.

Za interaktivnost korisničkog interfejsa korišćen je *Alpine.js*, lagani *JavaScript* okvir koji omogućava deklarativno vezivanje podataka i upravljanje stanjima bez potrebe za pisanjem obimnih *JavaScript* fajlova [9]. Komponente kao što su padajući meniji, modali i dinamičke forme implementirane su korišćenjem *Alpine.js* direktiva.

Ključna metodološka inovacija predstavlja pristup keširanju vremenskih termina korišćenjem binarnih nizova, gde svaki bit predstavlja 15-minutni interval dostupnosti korisnika. Ovakva binarna reprezentacija omogućava izuzetno kompaktnu pohranu podataka i brze bitovske operacije za pronalaženje zajedničkih slobodnih termina [10].

3. IMPLEMENTACIJA

Na slici 1 dat je ekran za podešavanje dostupnosti korisnika sa prikazom nedeljnog rasporeda.



Slika 1. *Ekran za podešavanje dostupnosti korisnika sa prikazom nedeljnog rasporeda*

Platforma implementira funkcionalnosti za upravljanje korisničkim nalozima, timovima, sistemom objava i zakazivanjem sastanaka. Baza podataka sadrži tabele *users*, *teams*, *meetings*, *posts* i *availability*, sa odgovarajućim stranim ključevima koji osiguravaju integritet podataka.

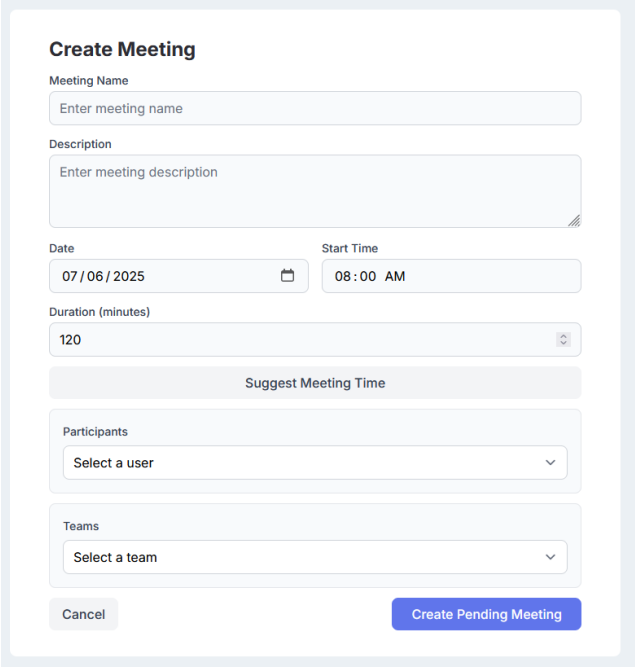
Sistem upravljanja timovima omogućava kreiranje tima, generisanje jedinstvenog koda za pridruživanje i definisanje uloga članova (*owner*, *admin*, *member*). Veza između korisnika i timova realizovana je kroz pivot tabelu *team_members* koja čuva dodatne informacije o članstvu.

Srž sistema za zakazivanje sastanaka zasniva se na algoritmu koji koristi binarne nizove za reprezentaciju dostupnosti. Dan je podeljen na 96 intervala od po 15 minuta, a dostupnost svakog korisnika predstavljena je nizom od 96 bitova gde vrednost 1 označava dostupnost, a 0 nedostupnost.

Pronalaženje zajedničkih slobodnih termina realizuje se primenom *bitovske AND* operacije nad nizovima dostupnosti svih učesnika. Sledeći pseudokod ilustruje osnovni princip algoritma:

```
combined_availability = bitarray('1' * 96)
for each participant in participants:
  combined_availability &= participant.availability
```

Ovaj pristup omogućava *O(1)* vremensku složenost po intervalu nezavisno od broja učesnika, što predstavlja značajno poboljšanje u odnosu na iterativne pristupe koji zahtevaju *O(n* m)* operacija gde je *n* broj učesnika, a *m* broj intervala.



Slika 2. *Forma za kreiranje novog sastanka sa listom učesnika i prikazom automatski predloženih slobodnih termina*

Blade šabloni koriste nasleđivanje za organizaciju modularnog sistema prikaza. Glavni šablon definiše osnovnu strukturu stranice, dok podšabloni proširuju ovaj raspored i definišu specifičan sadržaj. Direktiva `@csrf` automatski dodaje token za zaštitu od *CSRF* napada u sve forme.

Frontend implementacija koristi *Alpine.js* za interaktivne komponente. Primer dinamičkog prikazivanja sadržaja:

```
html
<div x-data="{ open: false }">
    <button x-on:click="open = !open">Toggle</button>
    <div x-show="open">
        Sadržaj koji se prikazuje uslovno
    </div>
</div>
```

Optimizacija performansi baze podataka sprovedena je kroz sistem indeksa na često korišćenim kolonama i primenu *eager loading* tehnike za sprečavanje N+1 problema pri učitavanju povezanih modela [11].

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Razvijena platforma uspešno implementira sve planirane funkcionalnosti i pokazuje stabilnost u lokalnom razvojnom okruženju. Algoritam za automatski predlog termina demonstrira efikasnost pri analizi dostupnosti većeg broja učesnika.

Rezultati pokazuju da pristup zasnovan na bitovskim operacijama značajno redukuje vremensku složenost pronalaženja zajedničkih slobodnih termina. Za tipičan scenario sa 10 učesnika i dnevnim rasporedom od 96 intervala, iterativni pristup zahteva 960 poređenja, dok bitovski pristup zahteva samo 10 *AND* operacija nad 96-bitnim nizovima. U Tabeli I dato je poređenje performansi algoritama za pronalaženje slobodnih termina (pri čemu je *n – broj učesnika*, *m – broj vremenskih intervala, 96 na dan*).

Tabela I *Poređenje performansi algoritama za pronalaženje slobodnih termina*

Pristup	***Vremenska složenost***	***Memorijska složenost***
Iterativni	O(n * m)	O(n * m)
Bitovske operacije	O(n + m)	O(n * k), *k = 12 bajtova*

Poređenje sa postojećim alatima prikazano je u Tabeli II. Analiza je sprovedena na osnovu ključnih kriterijuma relevantnih za akademsko okruženje.

Tabela II *Poređenje sa postojećim alatima za kolaboraciju i zakazivanje*

Kriterijum	***MS Teams***	***Doodle***	***When2Meet***	***Razvijena platforma***
Besplatna verzija	Ograničena	Da	Da	Da
Automatski predlog termina	Ne	Ne	Ne	Da
Integracija timovi+sastanci	Da	Ne	Ne	Da
Kontrola nad podacima	Ne	Ne	Ne	Da
Prilagođeno akademiji	Ne	Ne	Delimično	Da
Algoritamska efikasnost	Nepoznato	O(n * m)	O(n * m)	O(n + m)

Ključna prednost razvijene platforme ogleda se u automatskom predlaganju termina korišćenjem efikasnog algoritma baziranog na bitovskim operacijama. Za razliku od alata poput *Doodle* ili *When2meet* koji zahtevaju da korisnici ručno pregledaju i odaberu termine [3], razvijena platforma automatski generiše listu optimalnih termina kada su svi učesnici dostupni. Dodatno, platforma omogućava institucijama potpunu kontrolu nad podacima jer se može postaviti na sopstvene servere, što je značajno sa aspekta privatnosti i usklađenosti sa regulativama.

4.1 Praktične implikacije

Platforma omogućava efikasnu koordinaciju timskog rada eliminisanjem potrebe za ručnim usklađivanjem rasporeda. Automatski predlog termina sastanaka posebno je koristan u obrazovnom kontekstu gde studenti često imaju različite rasporede predavanja i drugih obaveza.

Sistem objava pruža centralizovanu platformu za komunikaciju unutar tima, smanjujući fragmentaciju informacija koja nastaje korišćenjem više različitih kanala komunikacije. Hijerarhijska struktura uloga (*owner*, *admin*, *member*) omogućava jasno definisanje odgovornosti.

MVC arhitektura i modularni dizajn olakšavaju buduće nadogradnje sistema. Laravel ekosistem pruža podršku za integraciju dodatnih funkcionalnosti kao što su video pozivi (*Laravel Echo*, *WebSockets*) ili povezivanje sa eksternim kalendarima [12].

4.2 Ograničenja

Trenutna implementacija ne podržava *real-time* notifikacije o novim objavama ili zakazanim sastancima. Integracija *Laravel Echo* i *WebSocket* tehnologije predstavlja logičan sledeći korak u razvoju platforme.

Algoritam za predlog termina ne uzima u obzir preferencije korisnika kao što su preferirana doba dana ili maksimalno trajanje sastanka. Proširenje algoritma za uključivanje težinskih faktora poboljšalo bi kvalitet predloženih termina.

Testiranje je sprovedeno u lokalnom okruženju i potrebna je dodatna validacija performansi u produkcionom okruženju sa većim brojem istovremenih korisnika.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je veb platforma za kolaboraciju agilnih projektnih timova razvijena korišćenjem *Laravel 11 PHP* radnog okvira. Platforma implementira funkcionalnosti za upravljanje timovima, komunikaciju putem sistema objava i automatsko zakazivanje sastanaka na osnovu dostupnosti članova.

Ključni doprinos rada predstavlja algoritam za analizu dostupnosti koji koristi bitovske operacije nad binarnim nizovima. Ovaj pristup omogućava efikasno pronalaženje zajedničkih slobodnih termina sa linearnom vremenskom složenošću, čime se postiže skalabilnost sistema i kod većeg broja korisnika.

Blade šablonski sistem i *Alpine.js* korišćeni su za kreiranje intuitivnog korisničkog interfejsa, dok *Eloquent ORM* pojednostavljuje rad sa relacionom bazom podataka. Bezbednosni mehanizmi *Laravel* okvira obezbeđuju zaštitu od uobičajenih napada.

Buduća istraživanja mogu se usmeriti na implementaciju *real-time* notifikacija, proširenje algoritma za predlog termina

sa težinskim faktorima preferencija i integraciju sa eksternim sistemima za upravljanje kalendarom.

LITERATURA

[1] W3C, "Web Application Development Best Practices," World Wide Web Consortium, https://www.w3.org/TR/webarch/, pristupljeno maj 2025.

[2] Microsoft Corporation, "Microsoft Teams Documentation," https://docs.microsoft.com/en-us/microsoftteams/, pristupljeno maj 2025.

[3] Doodle AG, "Doodle - Schedule meetings," https://doodle.com/, pristupljeno maj 2025.

[4] R. Fielding, "Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures," Doctoral dissertation, University of California, Irvine, 2000.

[5] Laravel LLC, "Laravel Framework Documentation," https://laravel.com/docs, pristupljeno maj 2025.

[6] Laravel LLC, "Blade Templates Documentation," https://laravel.com/docs/blade, pristupljeno maj 2025.

[7] Laravel LLC, "Eloquent ORM Documentation," https://laravel.com/docs/eloquent, pristupljeno maj 2025.

[8] OWASP Foundation, "OWASP Top Ten Web Application Security Risks," https://owasp.org/www-project-top-ten/, pristupljeno april 2025.

[9] C. Watts, "Alpine.js Documentation," https://alpinejs.dev/, pristupljeno april 2025.

[10] D. E. Knuth, "The Art of Computer Programming, Volume 4A: Combinatorial Algorithms," Addison-Wesley Professional, 2011.

[11] B. Schwartz, P. Zaitsev, V. Tkachenko, "High Performance MySQL," O'Reilly Media, 4th edition, 2021.

[12] Laravel LLC, "Laravel Echo Documentation," https://laravel.com/docs/broadcasting, pristupljeno maj 2025.

METODOLOŠKI OKVIR ZA PAMETNU SVETLOSNU SIGANLIZACIJU
AN INNOVATIVE FRAMEWORK FOR SMART TRAFFIC LIGHT CONTROL

Bratislav Lukić i Igor Milanović

Sadržaj – Kao posledica finansijskih i tehnoloških inovacija, životni standard ljudi se poboljšava, a time se povećava stanovništvo, odnosno broj vozila u gradovima i nemogućnost putne infrastrukture da se izbore gustinom saobraćaja koja se postepeno povećava. Zagušenja u saobraćaju su glavna briga za mnoge gradove, jer umanjuje kvalitet ljudskog života. Iako je teško da se reguliše saobraćajni tok zbog brojnih složenosti i neizvesnosti, problem saobraćajnih gužvi mora se ublažiti kako bi se smanjilo izgubljeno vreme na putevima, ali i ekološki problemi u vezi sa saobraćajem. Inteligentne metode upravljanja saobraćajem, čija je upotreba sve veća u velikim gradovima, za razliku od konvencionalnih metoda, pružaju efikasnija rešenja, posebno na raskrsnicama sa velikom gustinom saobraćaja. Koncept pametnih sistema omogućuje primenu mnogih algoritama koje koriste informacione i komunikacione tehnologije, internet stvari i veštačku inteligenciju. Ova studija predstavlja algoritam zasnovan na veštačkoj inteligenciji u tri faze: prva ima za cilj da se putem dubokog učenja izračunava broj automobila i prepoznaju vozila sa prioritetom, drugoj je cilj stvaranje prilagodljivog sistema upravljanja saobraćajem koristeći fazi logiku. Treća faza predstavlja korišćenje informaciono-komunikacione tehnologije u cilju smanjenja izgubljenog vremena putnika u javnom prevozu. Putem GPS se dobija pozicija autobusa, a zatim se putem komunikacije vozilo-infrastruktura prosleđuje informacija kontroleru koji na osnovu dužine rute između raskrsnice i položaja autobusa definiše idealnu brzinu. Nakon čega kontroler prosleđuje informaciju vozaču kojom brzinom autobus treba da se kreće. Predloženi model kroz integraciju definisanih faza omogućava smanjenje gužvi u raskrsnici, ali i prioritetno propuštanje značajnih kategorija vozila.

Ključne reči: fazi logika, duboko učenje, informaciono-komunikacione tehnologije.

Abstract – Financial and technological innovations have contributed to improved living standards, which in turn lead to population growth and a continuous increase in the number of vehicles in urban environments. As a result, road infrastructure is increasingly unable to cope with rising traffic demand, making congestion one of the major challenges faced by modern cities. Traffic congestion negatively affects the quality of life, causing significant time losses and environmental impacts. Considering the complexity and uncertainty inherent in urban traffic flow, effective mitigation strategies are required to enhance mobility and reduce ecological consequences. This study proposes a three-phase intelligent traffic management model based on artificial intelligence. In the first phase, deep learning is employed to estimate traffic density and identify priority vehicles. The second phase introduces an adaptive traffic control system utilizing fuzzy logic to respond dynamically to changing traffic conditions. The third phase integrates information and communication technologies to reduce travel delays in public transportation: GPS data determines the bus position, which is transmitted to the controller through vehicle-to-infrastructure communication. Based on the distance to the intersection, the controller defines the optimal bus speed and relays this information to the driver. By integrating these components, the proposed model enhances traffic efficiency at intersections, alleviates congestion, and ensures preferential treatment for critical categories of vehicles, thereby contributing to more sustainable and intelligent urban mobility.

Keywords: fuzzy logic, deep learning, information and communication technologies

1. UVOD

Ljudski život se eksponencijalno razvija i oslanjanje na konvencionalne usluge više nije dovoljno, a zavisnost od tehnologije stvorila je potražnju za razvojem. Međutim, putna infrastruktura koja je platforma na kojoj su izgrađene sve transportne usluge zaostaje u rastu, što stvara izazove. Ovaj problem je podstaknut i stalnim porastom broja stanovnika u gradovima, a samim tim i nvozila, kao i nedostatkom efikasnosti u upravljanju saobraćajem [1]. Saobraćajna gužva je jedna od najvećih problema u skoro svakoj zemlji na svetu, koji ograničava razvoj gradova i važan je faktor koji utiče na kvalitet gradskog života. Povećanje potražnje za individualnim vozilima smanjuje kvalitet ljudskog života, kroz zagađenje vazduha, zagađenje bukom, čekanje u saobraćaju, povećan broj saobraćajnih nezgoda, prekomerne potrošnje goriva kao prirodnog resursa, koji se reflektuje i na ekonomiju kako vozača tako i društva u celini [2, 3]. Saobraćajni signali su namenjeni za regulisanje saobraćaja na površinskim raskrsnicama, a njihova efikasnost zavisi od sposobnosti balansiranja naizmeničnih tokova vozila bez pogoršanja vremena čekanja, dužine reda i gustine [4]. Najrasprostranjeniji sistem saobraćajne signalizacije prati tačno vreme u saobraćajnoj signalizaciji i zbog toga ponekad može biti bez saobraćaja ili dugo čekanje, međutim, sa druge strane, može postojati kratko trajanje kada su prisutni dugi redovi vozila koji će stvoriti duge lance zagušenja u vršnim satima. Glavna pitanja koja treba uzeti u obzir su da ljudi osećaju da se njihovo vreme ne poštuje, što bi moglo da dovede do nepoštovanja saobraćajnih pravila i propisa. Tehnološki napredak je omogućio saobraćajnim sistemima da prikupe ogromne količine podataka i razvoj inteligentnih transportnih sistema (ITS). Pametni semafor se smatra jednom od aplikacija ITS. Elektronski uređaji kao što su bežični

Bratislav Lukić, Mašinski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš (imejl: lukic.bratislav@yahoo.com).

Igor Milanović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: igor.milanovic@akademijanis.edu.rs).

senzori, pametni telefoni i drugi sistemi koji su povezani na internet ili lokalnu mrežu omogućili su pristup velikoj količini informacija, a količina prikupljenih informacija raste usled konstantnog povećanja pametnih uređaja. Mnoge tehnologije igraju vitalnu ulogu u dizajniranju pametnog semafora, kao što su informaciono-komunikacione tehnologije (ICT), internet stvari (IoT) i veštačka inteligencija (AI). Značaj ICT koncepta na poboljšanje performansi saobraćajnog toka omogućen je komunikacijom između različitih fizičkih uređaja (senzora, vozila, digitalnih tehnologija, itd.), čime se prikupljaju informacije potrebne za donošenje boljih odluka o dužini trajanja ciklusa i raspodele zelenih vremena na semaforu [5].

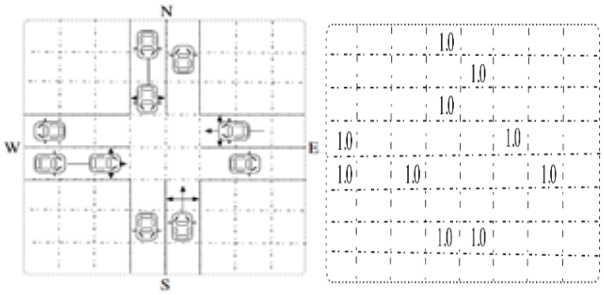
AI je jedna od najnaprednijih računarskih nauka koja traži napredne načine da dobije rešenja kako bi računar mogao da simulira inteligentni ljudski mozak radi rešavanja problema i donošenja odluka na logičan način. Efikasno rešavanje saobraćajnih zagušenja posredstvom saobraćajnog policajca na raskrsnica predstavlja vodič za korišćenje AI. Uloga saobraćajnog policajca je da sagledava uslove u saobraćaju i na osnovu svog iskustva i saznanja o raskrsnici, kao i saobraćajnog toka koje posmatra može odmah u velikoj meri eliminisati problem zagušenosti saobraćaja. Suština korišćenja veštačke ingeligencije je da se eliminiše potreba za ljudskim faktorom, koji je skup i uglavnom nedostupan, a da se saobraćajne situacije snimaju, odnosno unose u bazu na osnovu kojih se uči na način, poput ljudskog uma, tako da se može upravljati saobraćajem kroz interakciju sa okolinom.

2. METODOLOGIJA I MODEL

Ciklus saobraćajne signalizacije je skup faza, koje predstavljaju specifične kombinacije kretanja u kojima se istovremeno dobija prednost. Predloženi model sastoji se iz određivanja optimalnog signalnog plana na individualnoj raskrsnici korišćenjem dubokog učenja (DL) za prikupljanje podataka u realnom vremenu o saobraćajnom toku, prepoznavanje vozila sa prioritetom, određivanjem trenutka prolaza vozila javnog prevoza kroz predmetnu raskrsnicu primenom ICT, odnosno davanjem instrukcija vozaču kojom brzinom da se kreće. Sam model predstavlja sublimaciju predstavljena tri algoritma. Određivanja signalnog plana vrši se primenom fazi logike (FL) za učesnike u saobraćaju, dok se za potrebe prolaza vozila sa prioritetom vrši produženje zelenog vremena, odnosno skraćenje u zavisnosti od prilaza raskrsnici navedene grupe vozila.

2.1. Primena fazi logike u upravljanju semaforskom signalizacijom

Predlog TLC u modelu je četvorokraka raskrsnica, pri čemu je poželjno da broj saobraćajnih traka za kretanje u istom smeru ne bude više od četiti. Za potrebe predloženog modela potrebno je postavljanje po dva detektora, odnosno kamere koja će prikupljati podatke o vozilima za svaku prilaznu saobraćajnu traku. Detektori u svakoj saobraćajnoj traci se koriste za određivanje broja vozila u traci. Određivanje broja vozila u saobraćajnoj traci na prilazu raskrsnici vrši se na osnovu informacija prikupljenih sa mreže. Slika 1a prikazuje mrežu na osnovu koje se vrše prikupljanje informacija, dok je na Slici 1b dat način na koji se vrši identifikacija vozila [6].



Slika 1. *Mreža a) za prikupljanje informacija; b) za identifikaciju vozila*

Matematički model za diskretizaciju prostora je (1):

$$LSD_{l,k} = c_{l,k} \quad (1)$$

gde l predstavlja saobraćajnu traku, k – redni broj saobraćajne trake, gde $c_{l,k}$ ima vrednost 1 ili 0, u zavisnosti da li se u ćeliji nalazi vozilo ili ne [7]. Upravljanje semaforskom siganlizacijum projektovno je prema sledećim pretpostavkama i ograničenjima:

- Dužina ciklusa signalnog plana je 120 sekundi.
- Minimalno trajanje zelenog svetla je 6 sekundi, a maksimalno 60 sekundi.
- Period trajanja žutog svetla je 2 sekunde, ako postoji jedna saobraćajna traka za jedan smer, odnosno 4 sekunde za četiri saobraćajne trake.
- Skretanje je moguće samo za put sa najbližim trakama do smera skretanja, pri čemu vozila koja zadržavaju smer kretanja koriste samo srednje dve trake.
- Detektori i prostorni uslovi saobraćajnih traka omogućuju prikupljanje podataka za identičnu dužinu prilaza.

Kontrolor semafora je zasnovan na FL, koji je odgovoran za kontrolu trajanja zelenog ili crvenog vremena prema uslovima saobraćaja. Optimalno vreme ciklusa izračunava se Vebsterovom metodom [8]. U kontroleru semafora su izabrane dve fuzi ulazne varijable. Prva je ukupan broj vozila (TNV) na raskrsnici (2):

$$TNV = \sum_{k=1}^{n} c_{l,k} \quad (2)$$

gde n označava broj ćelija u nizu koji su definisani za svaku saobraćajnu traku. Druga varijabla VND je razlika između ukupnog broja vozila koji prilaze sa istoka i zapada i ukupnog broja vozila koja dolaze sa severa i juga (3).

$$VND = LSD_{ew,k} - LSD_{ns,k} \quad (3)$$

Postoje 7 članova funkcije u fazi kontroleru. To su veoma malo (vvf), vrlo malo (vf), malo (f), prosečno (av), mnogo (m), vrlo mnogo (vm) i veoma mnogo (vvm). Na osnovu fazi pravila datih u tabeli I, fazi kontroler proizvodi izlaz prema aktuelnim uslovima saobraćaja za određivanje trajanja zelenog svetla [9]. U šemi fuzi zaključivanja Mamdanijevog tipa, definisano je 49 pravila, a korišćen je metod prosečne ponderisane defazifikacije. Da bi se odredilo trajanje zelenog svetla, proizvodi se izlaz na osnovu trenutnih uslova u saobraćaju koristeći 49 navedenih fuzi pravila.

Tabela I *Skup pravila FL [10]*

TNV \ DNV	vvf	vf	f	av	m	vm	vvm
vvf	vvf	vvf	vf	vf	f	f	av
vf	vvf	vf	vf	f	f	av	m
f	vf	vf	f	f	av	m	m
av	vf	f	f	av	m	m	vm
m	f	f	av	m	m	vm	vm
vm	f	av	m	m	vm	vm	vvm
vvm	av	m	m	vm	vm	vvm	vvm

Pravac u kome će biti aktivno zeleno vreme određuje se prema razlici u broju vozila. Na primer, ako je razlika VND negativna, zeleno vreme je aktivno za vozila sa severa i juga, a u slučaju da razlika pozitivna ili nula, zeleno vreme se aktivira za vozila sa istoka i zapada. Trajanje zelenog vremena, koja je FL izlazna vrednost se zatim izračunava prema vrednostima FL ulaza. Zeleno vreme se ponovo izračunava svake sekunde, tako da se zelena vremena dinamički menjaju. Očekuje se da će ciklus biti kompletan kada se promeni predznak razlike u broju vozila (sa pozitivnog na negativan ili obrnuto).

2.2. Detekcija i upravljanje semaforskom signalizacijom na nailazak prioritetnih vozila

Ljudski životi i finansijski gubitak u slučaju incidenta ili krivičnog dela zavisi od efikasnosti i blagovremenog reagovanje hitnih službi, koje takođe moraju poštovati svetlosnu saobraćajnu signalizaciju. Jedna od mnogih kritičnih posledica saobraćajne gužve je odlaganje reakcije na vanrednu situaciju, kao što su policijske intervencije, vatrogasne i spasilačke operacije i medicinske usluge. Da bi se odgovorilo na sve potrebe službi za hitne slučajeve, upravljanje saobraćajem bi trebalo da bude u stanju da kontroliše ponašanje vozila koja nemaju prioritet, kako bi se obezbedila brza isporuka hitne službe sa minimalnim brojem saobraćajnih nezgoda, minimalnim ometanjem redovnog saobraćaja i zadovoljenjem bezbednosnih zahteva. Ovi ciljevi se generalno postižu u dinamičnom okruženju jednog grada razmatranjem neizvesnosti u hitnim slučajevima i prostorno-vremenskim faktorima na protok saobraćaja [10]-[12].

Produženje, odnosno skraćenje zelenog vremena je neophodno u slučaju pojave vozila sa prioritetom na prilazu raskrsnici. Obzirom da već postoje detektori vozila za svaku saobraćajnu traku, pored podataka o gustini saobraćanog toka za model je potrebno i prepoznavanje vozila sa prioritetom za šta se koristi duboko učenje zasnovano na mreži za predlog regiona (Region Proposal Network – RPN) kao deo brže konvolucione neuronske mreže zasnovane na regionima (Faster Region-Based Convolutional Neural Network – Faster R-CNN), ali koristeći rezidualnu arhitekturu zasnovanu na regionima (ResNet) koja se obučava putem transfernog učenja [13]-[14]. Predloženim modelom može se iskoristiti informacija o prilazu predmetnih vozila i pravovremeno aktiviranje kontrolera na novonastalu situaciju bez ugrožavanja bezbednosti saobraćaja i stvaranja dodatnih zagušenja u saobraćaju.

2.3. Upravljanje semaforskom signalizacijom na nailazak javnog prevoza

U postupku optimizacije rada signala primenjuju se uglavnom sledeći kriterijumi ili njihova kombinacija: minimiziranje vremenskih gubitaka, broja zaustavljanja, vremena putovanja duž koridora, ukupnih troškova korisnika na mreži i maksimiziranje kapaciteta, kao i kriterijum maksimalno prihvatljiva dužina reda, međutim u poslednje vreme sve je više istraživača čiji predmet interesovanja nije vozilo, već se razmišlja o čoveku ili broju putnika koji se nalaze u tim vozilima. Težnja je da se smanjenje kašnjenja svakog čoveka koji se nalazi u prevoznom sredstvu. Paralelno sa tim savremeni grad pokušava da smanji broj vozila za individualni prevoz, zbog čega se insistira na korišćenju vozila javnog prevoza, a najviše sa ciljem smanjenja gužvi i smanjenja zagađenja životne sredine. Pojava ICT donelo je nove poglede na pristupe kontroli saobraćajne signalizacije. ICT je pokazala veliki potencijal za poboljšanje efikasnosti signalisane raskrsnice i bezbednosti [15]. Komunikacija vozilo–infrastruktura (V2I) omogućava informacije o stanju vozila u realnom vremenu, poput tipa vozila, brzine, položaja i trajektorije koja se može koristiti za poboljšanje modeliranja upravljanja signalom. Način funkcionisanja predmetnog modela zasniva se na održavanju brzine kretanja, odnosno obaveštavanju vozača kojom brzinom je potrebno da se kreće vozilo javnog prevoza [16].

Prioritetni signal za tranzitna vozila je skup tehnika koji obezbeđuju da vozila javnog prevoza prolaze kroz signalisanu raskrsnicu bez zaustavljanja, odnosno sa minimalnim gubljenjem vremena. Predmetnom tehnikom smanjuje se varijabilnost vremena putovanja autobusa i povećava pouzdanost rada podešavanjem postavki signala koje favorizuju dolaske autobusa [17]. Međutim, prioritet davanja zelenog signalnog pojma vozilima javnog prevoza može da pogorša saobraćaj vozilima bez prioriteta. Predmetnom metodom minimizira se kašnjenje vozila javnog prevoza na raskrsnicama, dok se kod tradicionalnih modela adaptivnog upravljanja saobraćajem vrši ublažavanje saobraćajnih gužvi, odnosno minimiziranje ukupnih kašnjenja vozila. Kako bi se smanjili negativni uticaji, u nekoliko studija su predloženi modeli optimizacije prioritetnog signala za tranzitna vozila pod različitim ograničenjima [18]-[19]. Kooperativni inteligentni transportni system uspostavio je dvosmernu komunikacionu šemu između V2I, što omogućava optimizaciju kontrole saobraćajne signalizacije i efikasnosti kretanja vozila. Kooperativni sistem prioriteta tranzitnog signala je integrisani sistem koji sadrži strukturu za upravljanje i saradnju signalnog vozila, koji optimizuje podešavanja signala u kratkom periodu (u sekundi) sa ciljem minimiziranja ukupnog kašnjenja putnika. Optimalna podešavanja signala u realnom vremenu se prenose na kontroler preko V2I, a koji zatim može izračunati optimalnu brzinu sa ciljem maksimiziranja prolaznosti kroz raskrsnicu. Navedenim modelom optimizacije signala obezbeđuje se dodatno smanjenje kašnjenja autobusa bez dramatičnog pogoršanja performansi saobraćaja vozila bez prioriteta, obaveštavanje vozača kojom brzinom je potrebno da se kreće vozilo javnog prevoza [20].

Integracijom navedeog modela V2I sa predloženim FL odlučivanjem u upravljanju semaforskom siganlizacijom, omogućuje se smanjenje zadržavanja vozila javnog prevoza na prilazu raskrsnici. Prolaz vozila javnog prevoza kroz raskrsnicu se reguluše tako što vozač dobija informaciju kojom brzinom treba da se kreće kako bi u što kraćem vremenskom periodu proša, dok se putem DL vrši pomeranje trajanja zelene faze, u cilju prolaska vozila sa prioritetom.

3. ZAKLJUČAK

U ovom radu su predložene kombinacije FL, DL i ICT koje se koriste kao metoda inteligentne raskrsnice. Predložena metoda predstavlja alternativni metod klasičnom semaforu, a unapređena je verzija već postojećih adaptivnih semafora. U načelu najbolju rezultati primenom FL se daju za vozila koja zadržavaju pravac kretanja, što je uglavnom i zastupljeno na četvorokrakim raskrsnicama. Na osnovu već izvršenih studija gde su izvršene mikrosimulacije pokazale su da logički kontroler, koji ima ulaznu vrednost prema dužina reda na saobraćajnoj raskrsnici, daje bolje rezultate od fiksnog vremena kontrola semafora. Predviđa se da će rezultati dobijeni kombinacijom predloženih metoda dati bolje rezultate, imajući u obzir da neće sagledavati samo dužinu reda, već i posebne kategorije vozila, poput vozila sa prioritetom čime će se omogućiti brža reakcija hitnih službi. Takođe, upravljanje brzinom vozila javnog prevoza putem V2I smanjiće se zadržavanja predmetne kategorije vozila i nezadovoljstvo putnika, obzirom da se veći broj prevoze u istom sredstvu.

U budućim studijama, u model bi se uključilo dopunsko upravljanje pametnim semaforima razmatrajući potrebe pešaka koji imaju nameru da prođu rasskrsnicu, a za vozila javnog prevoza bi se putem GPS vršilo određivanje lokacije, a zatim V2I dostavljala informacija kontroleru u cilju produženja ili skraćenja zelene faze, odnosno ciklusa. Obzirom da bi bilo više kriterijuma za određivanje optimalnog plana poželjno bi bilo uključivanje modela višekriterijumskog odlučivanja. Pored toga, provera predloženog modela bi se izvršio u nekom od već postojećim mikroskopskih simulacionih modela (SUMO, VISSIM i sl.).

LITERATURA

[1] Q. He, R. Kamineni, and Z. Zhang, “Traffic signal control with partial grade separation for oversaturated conditions,” Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 71, pp. 267–283, 2016.

[2] J. L. Zapotecatl, D. A. Rosenblueth, and C. Gershenson, “Deliberative self-organizing traffic lights with elementary cellular automata,” Complexity, vol. 2017, no. 1, Art. no. 7691370, 2017.

[3] M. Krzysztof, “The importance of automatic traffic lights time algorithms to reduce the negative impact of transport on the urban environment,” Transportation Research Procedia, vol. 16, pp. 329–342, 2016.

[4] P. Grandinetti, C. Canudas-de-Wit, and F. Garin, “Distributed optimal traffic lights design for large-scale urban networks,” IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 27, no. 3, pp. 950–963, 2018.

[5] M. A. Khasawneh and A. Awasthi, “Intelligent Traffic Light Control,” in Proc. 2nd African Int. Conf. Industrial Engineering and Operations Management (IEOM), Harare, Zimbabwe, 2020, pp. 7–10.

[6] X. Liang, Applied deep learning in intelligent transportation systems and embedding exploration, Ph.D. dissertation, New Jersey Institute of Technology, 2019.

[7] I. Tunc, A. Y. Yesilyurt, and M. T. Soylemez, “Different fuzzy logic control strategies for traffic signal timing control with state inputs,” IFAC-PapersOnLine, vol. 54, no. 2, pp. 265–270, 2021.

[8] H. C. Manual, HCM 2000. Washington, DC, USA: Transportation Research Board, 2000.

[9] I. Tunc and M. Söylemez, “Intelligent intersection management using fuzzy logic control and PI control,” in Proc. 8th Transport Research Arena (TRA), 2020, pp. 27–30.

[10] P. S. Chakraborty, A. Tiwari, and P. R. Sinha, “Adaptive and optimized emergency vehicle dispatching algorithm for intelligent traffic management system,” Procedia Computer Science, vol. 57, pp. 1384–1393, 2015.

[11] K. Nellore and G. P. Hancke, “Traffic management for emergency vehicle priority based on visual sensing,” Sensors, vol. 16, no. 11, p. 1892, 2016.

[12] P. Faldu, N. Doshi, and R. Patel, “Real time adaptive traffic control system: a hybrid approach,” in 2019 IEEE 4th Int. Conf. Computer and Communication Systems (ICCCS), 2019, pp. 697–701.

[13] C. Jiang and G. Ren, “Regional flow control in peak travel period based on fuzzy algorithm,” Future Generation Computer Systems, vol. 126, pp. 279–283, 2022.

[14] F. Abbasi, M. Zarei, and A. M. Rahmani, “FWDP: A fuzzy logic-based vehicle weighting model for data prioritization in vehicular ad hoc networks,” Vehicular Communications, vol. 33, p. 100413, 2022.

[15] M. Steadman and B. Huntsman, Connected vehicle infrastructure: Deployment and funding overview, no. PRC 17-77 F, 2018.

[16] K. Gao, S. Huang, J. Xie, N. N. Xiong, and R. Du, “A review of research on intersection control based on connected vehicles and data-driven intelligent approaches,” Electronics, vol. 9, no. 6, p. 885, 2020.

[17] H. R. Smith, B. Hemily, and M. Ivanovic, Transit signal priority (TSP): A planning and implementation handbook, 2005.

[18] L. T. Truong, G. Currie, M. Wallace, C. De Gruyter, and K. An, “Coordinated transit signal priority model considering stochastic bus arrival time,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 20, no. 4, pp. 1269–1277, 2018.

[19] X. Zeng, Y. Zhang, J. Jiao, and K. Yin, “Route-based transit signal priority using connected vehicle technology to promote bus schedule adherence,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 22, no. 2, pp. 1174–1184, 2020.

[20] W. H. Lee and H. C. Wang, “A person-based adaptive traffic signal control method with cooperative transit signal priority,” Journal of Advanced Transportation, vol. 2022, no. 1, Art. no. 2205292, 2022.

ANALIZA STANJA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA U PČINJSKOM OKRUGU
ANALYSIS OF TRAFFIC SAFETY CONDITIONS IN THE PČINJA DISTRICT

Miodrag Đorđević, Jelena Mitrović Simić

Sadržaj – Bezbednost saobraćaja predstavlja jedan od ključnih aspekata razvoja svakog savremenog društva, jer direktno utiče na kvalitet života, efikasnost saobraćajnog sistema i opštu sigurnost građana. Pčinjski okrug, kao administrativna celina na jugu Srbije, obuhvata više opština sa različitim infrastrukturnim, geografskim i saobraćajnim karakteristikama, što doprinosi složenosti problema bezbednosti saobraćaja na ovom području. U ovom radu izvršena je analiza podataka o saobraćajnim nezgodama u Pčinjskom okrugu korišćenjem baze podataka o saobraćajnim nezgodama koju vodi Agencija za bezbednost saobraćaja. Analiza stanja bezbednosti saobraćaja je izvršena kroz prikaz apsolutnih i relativnih pokazatelja bezbednosti saobraćaja, kao i prikaza najvažnijih indikatora performansi bezbednosti saobraćaja. Na osnovu analize, izvedeni su zaključci koji ukazuju na trendove i probleme, a predložene su i konkretne mere za unapređenje bezbednosti u saobraćaju.

Ključne reči: bezbednost saobraćaja, analiza podataka, lokalna zajednica.

Abstract – Traffic safety represents one of the key aspects of development in every modern society, as it directly affects the quality of life, the efficiency of the transportation system, and the overall safety of citizens. The Pčinja District, as an administrative unit in southern Serbia, comprises several municipalities with diverse infrastructural, geographical, and traffic characteristics, which contributes to the complexity of traffic safety issues in this area.In this paper, an analysis of traffic accident data in the Pčinja District was conducted using the traffic accident database maintained by the Road Traffic Safety Agency. The analysis of traffic safety conditions was carried out through the presentation of absolute and relative traffic safety indicators, as well as key traffic safety performance indicators. Based on the analysis, conclusions were drawn indicating existing trends and issues, along with specific measures proposed for improving traffic safety.

Keywords: traffic safety, data analysis, local community.

1. UVOD

Savremeni tokovi društvenog razvoja, praćeni ubrzanim rastom stepena motorizacije, doveli su do pojačanog ispoljavanja negativnih posledica saobraćaja, među kojima posebno mesto zauzimaju saobraćajne nezgode. One, u zavisnosti od svoje učestalosti i težine, ostavljaju značajne direktne i indirektne posledice na različite sfere društvenog života – od bezbednosti saobraćaja i ekonomskih gubitaka, do uticaja na zdravstveni sistem i životnu sredinu. Sistematska analiza saobraćajnih nezgoda predstavlja neophodan korak u razumevanju postojećih trendova, utvrđivanju uzroka i definisanju mera koje mogu doprineti njihovom smanjenju i prevenciji.

Prema podacima Svetske zdravstvene organizacije [1], u 2023. godini u saobraćajnim nezgodama je poginulo oko 1,19 miliona ljudi u svetu, a više od polovine poginulih čine ranjivi učesnici u saobraćaju, kao što su pešaci, biciklisti i motociklisti. Nacionalni statistički izveštaj [2] ukazuje na trend blagog porasta broja poginulih u saobraćajnim nezgodama u Republici Srbiji tokom poslednjih pet godina, pri čemu se prosečan broj poginulih lica kreće oko 515 godišnje. Ovakav podatak upućuje na postojanje određenih izazova i ograničenja u sistemu upravljanja bezbednošću saobraćaja. Analiza stanja bezbednosti saobraćaja u okviru lokalnih samouprava predstavlja važan korak ka identifikovanju prioritetnih problema i formulisanju efikasnih mera za poboljšanje bezbednosti u lokalnim zajednicama. Istraživanja ukazuju na značaj lokalizovanih pristupa u strategijama za bezbednost saobraćaja jer globalne ili nacionalne mere često ne odgovaraju specifičnim potrebama određenih zajednica [3].

Predmet ovog rada je analiza stanja bezbednosti saobraćaja na području Pčinjskog okruga u periodu od 2020. do 2024. godine. Analiza u radu je usmerena na prepoznavanje ključnih faktora koji utiču na nivo bezbednosti saobraćaja, kao i na analizu statističkih podataka o saobraćajnim nezgodama, a biće prikazane i vrednosti indikatora bezbednosti saobraćaja u ovom periodu. Cilj rada je da se razmotre osnovni izazovi bezbednosti saobraćaja na ovom području, kao i da se predlože konkretne mere koje će doprineti smanjenju broja nezgoda i poboljšanju bezbednosti učesnika u saobraćaju.

2. METODOLOGIJA

Metodologija istraživanja zasniva se na kvantitativnoj obradi i analizi podataka o saobraćajnim nezgodama koje su se dogodile na području Pčinjskog okruga u periodu od 2020. do 2024. godine. Podaci su prikupljeni iz integrisane baze podataka o saobraćajnim nezgodama koju vodi Agencija za bezbednost saobraćaja [4] , a njihova analiza i obrada je vršena preko softverskog paketa MS Office – Excell. Podaci koji nisu dostupni u integrisanoj bazi podataka, preuzeti su iz statističkih izveštaja Agencije za bezbednost saobraćaja.

Analiza stanja bezbednosti saobraćaja je izvršena na tradicionalan način analizom apsolutnih i relativnih pokazatelja bezbednosti saobraćaja, ali u ovom radu će biti izvršena i analiza indikatora performansi bezbednosti

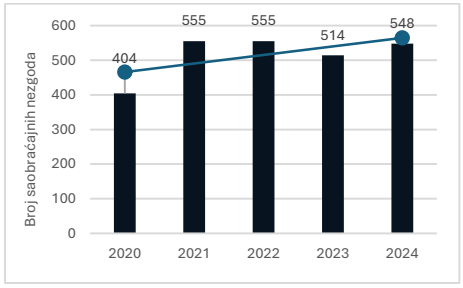
Miodrag Đorđević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje, (email: miodrag.djordjevic@akaemijanis.edu.rs)

Jelena Mitrović Simić, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, (email: mjelena@uns.ac.rs)

saobraćaja koji opisuju ponašanja učesika u saobraćaju, pre nego što dođe do saobraćajne nezgode. Indikatori bezbednosti saobraćaja predstavljaju meru koja je uzročno vezana za saobraćajne nezgode i posledice saobraćajnih nezgoda [5].

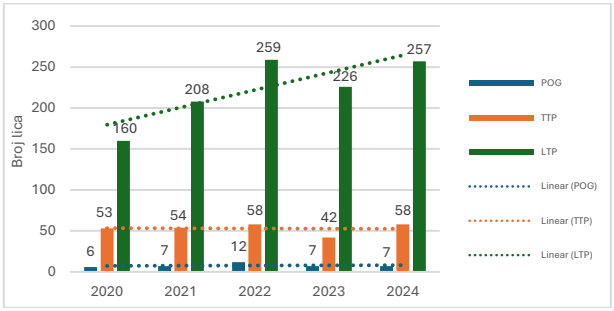
3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA SA DISKUSIJOM

U okviru analize apsolutnih pokazatelja prikazani su rezultati analize kroz više aspekata, uključujući broj saobraćajnih nezgoda i njihove posledice, starosnu i polnu strukturu učesnika u saobraćajnim nezgodama. U periodu od 2020. do 2024. godine, na području Pčinjskog okruga zabeleženo je ukupno 2.576 saobraćajnih nezgoda dok analiza po godinama pokazuje blagi rast broja saobraćajnih nezgoda (slika 1).



Slika 1 *Trend broja saobraćajnih nezgoda*

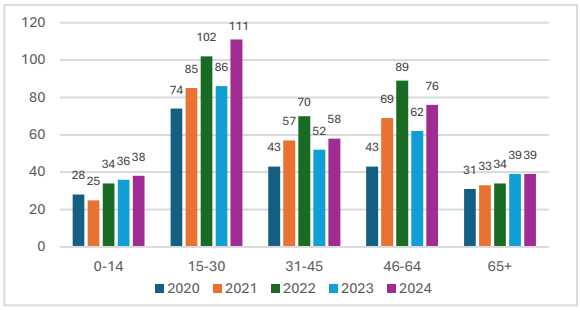
U istom vremenskom intervalu stradalo je 1.414 lica, od čega 39 sa smrtnim ishodom. Trendovi ukazuju na to da broj poginulih i teško povređenih ostaje na približno istom nivou, dok se broj lica sa lakim telesnim povredama postepeno povećava (slika 2).



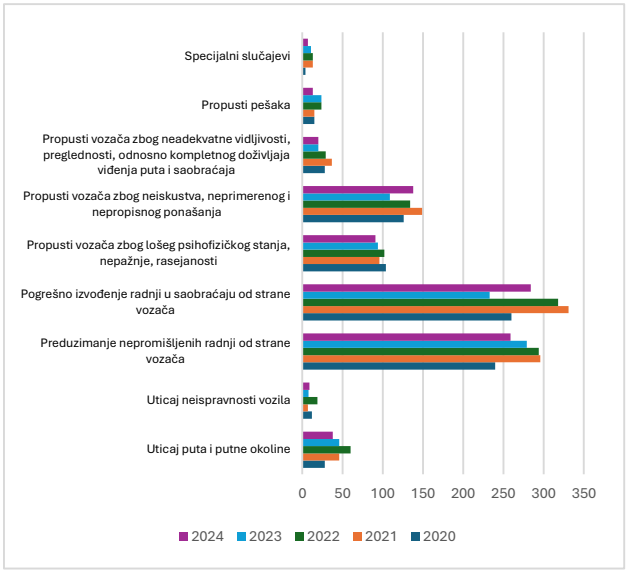
Slika 2 *Nastradala lica*

Najugroženija starosna grupa su mladi od 15 do 30 godina, dok su starije osobe i deca su najmanje zastupljeni u statistici natradalih, ali i dalje predstavljaju posebno osetljive grupe koje zahtevaju posebne mere zaštite (slika 3). Posmatrano prema polnoj strukturi, u svim analiziranim godinama učesnici muškog pola su zastupljeniji od učesnika ženskog pola.

Analiza uticajnih faktora koji dovode do saobraćajnih nezgoda u Pčinjskom okrugu u periodu 2020–2024. godine pokazuje da je ljudski factor dominantan uzrok nastanka saobraćajnih nezgoda. Najveći udeo imaju pogrešno izvođenje



Slika 3 *Nastradala lica po starosnim kategorijama*



Slika 4 *Uticajni faktori koji dovode do saobraćajnih nezgoda*

radnji u saobraćaju i preduzimanje neopreznih radnji vozača, dok su propusti usled nepažnje, umora ili neiskustva umereno zastupljeni. Faktori, poput neispravnosti vozila i uticaja puta i okoline, imaju znatno manji udeo (slika 4).

Najveći broj saobraćajnih nezgoda se desi na teritoriji Vranja, što je i očekivano s obzirom da je grad Vranje sedište Pčinjskog okruga i grad sa najvećim brojem stanovnika u okrugu. Međutim, ukoliko poredimo opštine prema javnom riziku poginulih, on je najveći u Vladičinom Hanu sa 63 poginulih/100hilj. stanovnika, dok Bosilegrad nema poginulih u saobraćaju (tabela I).

Tabela I Javni rizik u Pčinjskom okrugu u periodu 2020-2024. godine.

Opština	Poginuli	Javni rizik (pog/100h stan.)
Bosilegrad	0	8
Bujanovac	7	17
Preševo	6	18
Surdulica	3	18
Trgovište	1	23
Vladičin Han	11	63
Vranje	11	15

Indikatori bezbednosti saobraćaja, prepoznati su kao jedan od ključnih načina praćenja stanja bezbednosti saobraćaja, predstavljaju osnovu za uspešno upravljanje bezbednošću

saobraćaja. U ovom radu je dat pregled vrednosti ključnih indikatora bezbednosti saobraćaja za Pčinjski okrug za period od 2020. do 2024. godine u tabeli II.

Tabela II Vrednosti indikatora bezbednosti saobraćaja

Grupa	Indikator	Vrednost indikatora						
		Bosilegrad	Bujanovac	Preševo	Surdulica	Trgovište	Vladičin Han	Vranje
Zaštitni sistemi	% vozača koji ne koristi mobilni telefon	97,8	98,4	97,8	98,9	96,8	98,4	97,8
	% vozača i suvozača koji koristi pojas	87,9	87,9	87,1	91,2	87,6	89,0	96,4
	% putnika koji koristi pojas na zadnjem sedištu	4,5	33,0	18,5	4,5	1,3	24,0	33,0
	Upotreba dečijih zaštitnih sistema 0 - 12	48,1	47,8	43,7	65,1	57,1	50,1	59,1
	% upotrebe kacige – vozač	53,1	60,1	57,6	54,9	56,9	66,9	78,8
	% upotrebe kacige - putnik	64,6	92,3	63,6	57,2	N/A	70,6	74,0
Brzina	% prekoračenja brzine	76,6 naselje 78,4 van naselja 74,6 autoput						
	% prekoračenja brzine do 10km/h	93,5 naselje 85,1 van naselja 86,3 autoput						
Alkohol	% vozača pod uticajem alkohola preko 0,20 mg/ml	0,5 naselje 0,6 van naselja						

Analiza indikatora bezbednosti saobraćaja u Pčinjskom okrugu pokazuje da ne postoje izražene razlike među opštinama. Polja obeležena zelenom i žutom bojom ukazuju na veoma visoke, odnosno visoke vrednosti indikatora. Žuto obeležena polja ukazuju na visoke, ali nedovoljno optimalne rezultate, dok narandžasta ukazuju na srednji nivo bezbednosti koji zahteva unapređenje. Ovde se posebno ističu indikatori koji opisuju upotrebu sigurnosnog pojasa na prednjem sedištu i nekorišćenje mobilnog telefona, i oni u svim opštinama pokazuju dobro saobraćajno ponašanje.

Međutim, najviše zabrinjavaju indikatori prikazani u crvenoj i posebno crnoj boji, koji označavaju niske i veoma niske vrednosti. To se posebno odnosi na upotrebu pojasa na zadnjem sedištu i dečjih zaštitnih sistema, kao i na upotrebu kaciga u pojedinim opštinama, gde su vrednosti izrazito niske i predstavljaju ozbiljan faktor rizika. Ovi rezultati jasno pokazuju da je primena zaštitnih sistema neujednačena i da je u većini sredina potrebno intenzivirati edukativne i kontrolne aktivnosti.

Najkritičniji segment ostaje prekoračenje brzine i vožnja pod dejstvom alkohola, gde su gotovo sve vrednosti obeležene crvenom ili crnom bojom, što ukazuje na visok nivo rizičnog ponašanja u celom okrugu, bez značajnih razlika među opštinama. Ovi indikatori jasno potvrđuju potrebu za sistemskim merama, od jačanja policijskog nadzora, preko uvođenja savremenih tehnologija kontrole brzine, do kontinuirane edukacije u lokalnim zajednicama.

4. PREDLOG MERA ZA POBOLJŠANJE STANJA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

Na osnovu sprovedene analize stanja bezbednosti saobraćaja u Pčinjskom okrugu, posebno je važno usmeriti mere na najkritičnije segmente ponašanja učesnika u saobraćaju. Prvi set mera treba da obuhvati intenziviranje edukativnih kampanja, posebno među mladim vozačima, koji čine najugroženiju starosnu grupu. Programi bi trebalo da uključuju radionice u srednjim školama, obuke u auto-školama fokusirane na rizična ponašanja, kao i kampanje koje promovišu korišćenje sigurnosnog pojasa, dečijih sedišta i kaciga. Edukativni sadržaji moraju biti praktični, prilagođeni ciljnoj grupi i redovno sprovođeni na nivou svih opština.

Drugi set mera odnosi se na unapređenje kontrolnih aktivnosti. S obzirom da su prekoračenje brzine i vožnja pod dejstvom alkohola među najozbiljnijim problemima, potrebno je pojačati prisustvo saobraćajne policije na kritičnim deonicama i u periodima dana kada su rizici najveći. Preporučuje se uvođenje savremenih tehnologija za nadzor – stacionarnih kamera-radara za kontrolu brzine, kamera za detekciju upotrebe sigurnosnih pojaseva i mobilnih telefona. Povećanje verovatnoće otkrivanja prekršaja predstavlja jedan od efikasnijih načina smanjenja rizičnog ponašanja.

Treći pravac delovanja treba usmeriti na unapređenje infrastrukture na mestima gde se često javljaju nezgode, naročito u Vranju i na lokalnim putevima u opštinama sa visokim javnim rizikom poput Vladičinog Hana. To uključuje rekonstrukciju kritičnih raskrsnica, poboljšanje signalizacije, formiranje bezbednih pešačkih prelaza i uvođenje fizičkih mera za smanjenje brzine ("ležećih policajaca", suženja kolovoza i sl.). Posebnu pažnju treba posvetiti ruralnim područjima gde se nezgode često dešavaju zbog nedovoljne preglednosti i lošeg stanja puta.

Konačno, neophodno je jačanje institucionalne saradnje između lokalnih samouprava, Policijske uprave, Agencije za bezbednost saobraćaja i obrazovnih ustanova. Formiranje lokalnih saveta za bezbednost saobraćaja koji bi redovno analizirali podatke, identifikovali probleme i pratili efekte primenjenih mera ključno je za održivo unapređenje stanja. Kontinuirano prikupljanje i ažuriranje podataka o indikatorima bezbednosti, posebno o upotrebi zaštitnih sistema, omogućiće donošenje ciljanih i efikasnih odluka i mera, što bi dugoročno dovelo do smanjenja broja saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica u celom okrugu.

5. ZAKLJUČAK

Analiza stanja bezbednosti saobraćaja u Pčinjskom okrugu ukazuje na postojanje nepovoljnih trendova u pogledu broja saobraćajnih nezgoda i posledica po učesnike u saobraćaju. Iako pojedini pokazatelji ukazuju na zadovoljavajuće obrasce ponašanja, poput korišćenja pojasa na prednjem sedištu i nekorišćenja mobilnog telefona tokom vožnje, izuzetno niske stope upotrebe zaštitnih sistema na zadnjem sedištu i dečijih sedišta, kao i visok nivo prekoračenja brzine i prisustva

alkohola, predstavljaju ključne rizike koji zahtevaju hitno delovanje. Istovremeno, mladi vozači i dalje se izdvajaju kao najugroženija kategorija učesnika u saobraćaju, što dodatno potvrđuje potrebu za ciljanim obrazovnim i preventivnim aktivnostima.

Dobijeni rezultati jasno ukazuju da unapređenje bezbednosti saobraćaja mora biti zasnovano na kombinaciji infrastrukturnih, kontrolnih i edukativnih mera, uz snažnije povezivanje lokalnih institucija u procesu donošenja i sprovođenja odluka. Poseban značaj imaju indikatori bezbednosti saobraćaja, koji omogućavaju preciznije praćenje ponašanja učesnika u saobraćaju, te se preporučuje njihovo kontinuirano prikupljanje i analiza. Implementacija predloženih mera i sistemsko praćenje efekata mogu dugoročno doprineti smanjenju broja saobraćajnih nezgoda i posledica, stvarajući temelje za održiv i efikasan sistem upravljanja bezbednošću saobraćaja u Pčinjskom okrugu.

Ipak, analiza otvara i nekoliko važnih pitanja koja zahtevaju dublje istraživanje. Pre svega, i dalje nije dovoljno jasno u kojoj meri lokalna infrastruktura i specifični uslovi puta doprinose nastanku nezgoda, jer dostupni podaci pretežno opisuju ljudski faktor. Takođe, ostaje otvoreno pitanje uticaja socio-ekonomskih karakteristika opština na saobraćajno ponašanje, kao i pitanje efikasnosti postojećih edukativnih i preventivnih programa. U ovom smislu, dalji rad podrazumeva produbljivanje analize kroz uvođenje geolokacijskih podataka o mestima nezgoda, procenu uticaja infrastrukture kao i detaljnije istraživanje ponašanja najugroženijih grupa – mladih vozača kako bi se formulisale mere koje su prilagođene njihovim navikama i stvarnim potrebama. Ovakav pristup omogućava da ovaj rad posluži kao temelj za dalja istraživanja, strateško planiranje i razvoj sistemskih rešenja kojima se može postići dugoročno unapređenje bezbednosti saobraćaja u Pčinjskom okrugu.

LITERATURA

[1] World Health Organization, Global Status Report on Road Safety 2023. Geneva, Switzerland: World Health Organization. 2023. Dostupno na: https://www.who.int/roadsafety

[2] Agencija za bezbednost saobraćaja, Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji 2024. Dostupno na: https://www.abs.gov.rs/static/uploads/18593_Statisticki_2024_web.pdf

[3] World Health Organization. (2018). Global Status Report on Road Safety 2018. Geneva, Switzerland: World Health Organization. 2018. Dostupno na: https://www.who.int/publications/i/item/978924156568

[4] Agencija za bezbednost saobraćaja, Integrisana baza podataka o obeležjima bezbednosti saobraćaja. Dostupno na: https://bazaabs.abs.gov.rs/absPortal/

[5] European Transport Safety Council (ETSC). Transport safety Performance Indicators. Brussels. 2001.

METODOLOGIJA ODREĐIVANJA OPTIMALNOG BROJA TAKSI MESTA ZA STACIONIRANJE TAKSI VOZILA U TOKU RADA

AN OPTIMIZATION METHODOLOGY FOR DETERMINING THE OPTIMAL NUMBER OF TAXI STANDS IN URBAN TAXI OPERATIONS

Jovan Mišić, Pavle Pitka, Vladimir Popović i Stefan Mihajlović

Sadržaj – Taksi stajalište, kako je definisano Zakonom o prevozu putnika u drumskom saobraćaju ima dvojaku ulogu posmatrano sa planerskog aspekta, jer sa jedne strane zauzima prostor koji bi mogao biti iskorišćen kao parking prostor na kome se vrši naplata parkiranja, ili sa nekom drugom namenom u zavisnosti od zahteva posmatranog područja, a sa druge strane predstavlja interaktivnu vezu sa korisnicima taksi usluge koja treba da bude na mestu, koje je sa aspekta bezbednosti saobraćaja, garantuje sigurnost za ukrcavanje putnika i prtljaga, ili iskrcavanje putnika i prtljaga. Ono što se mora uočiti jeste da lokacija taksi stajališta ima interaktivnu ulogu sa korisnicima taksi usluga, kao i sva ostala stajališta i stanice ostalih podsistema javnog gradskog prevoza putnika. Taksi podsistem prevoza putnika je fleksibilan podsistem i pruža mogućnost korisnicima da svoje putovanje započnu i završe sa lokacije koja nije taksi stajalište, iz tog razloga lokacija taksi stajališta kod fleksibilnog podsistema prevoza putnika imaju ulogu u optimizaciji ukupnih pređenih kilometara i smanjenju neproduktivnih kilometara, kao i smanjenju ukupnih troškova taksi podsistema. Kako bi se odredila optimalna lokacija i broja taksi stajališta na nekom području, u radu je predložena metodologija za određivanje lokacija i broja taksi stajališta. Prvo je urađen pregled literature gde su analizirane razne studije i radovi, koji su se bavile određivanjem optimalnog broja taksi vozila na nekom području i u nekom delu studije ili rada, je razrađena analiza lokacija i funkcionalnosti taksi stajališta. Zatim, je dat predlog metodologije za određivanje optimalnog broja i kapaciteta taksi stajališta sa funkcijom prostornog raspoređivanja taksi stajališta na nekom području.

Ključne reči: Taksi stajalište, Taksi vozila, Optimizacija.

Abstract – A taxi stand, as defined by the Passenger Transport Act in Road Traffic, has a dual role from a planning perspective. On the one hand, it occupies space that could otherwise be utilized as paid parking or for another purpose depending on the needs of the area. On the other hand, it serves as an interactive point of contact with taxi service users, and its location must ensure safe boarding and alighting of passengers and their luggage from a traffic-safety standpoint. It is important to note that the location of a taxi stand has an interactive function with taxi users, similar to the stops and stations of other subsystems within urban public transport. The taxi transport subsystem is flexible and allows users to begin or end their trip at locations other than a taxi stand. For this reason, the spatial distribution of taxi stands within a flexible transport subsystem plays a role in optimizing total vehicle-kilometers traveled, reducing unproductive mileage, and lowering the overall operating costs of the taxi subsystem. To determine the optimal locations and number of taxi stands in a given area, this paper proposes a methodology for defining both their placement and quantity. First, a literature review was conducted analyzing various studies and papers dealing with the optimal number of taxis in a given area, which also included examinations of taxi stand locations and their functionality. Subsequently, a methodology is proposed for determining the optimal number, capacity, and spatial allocation of taxi stands within a defined area.

Keywords: Taxi stand, Taxi vehicles, Optimization.

1. UVOD

Taksi stajalište na teritoriji Republike Srbije je definisano Zakonom o prevozu putnika u drumskom saobraćaju [1], koji je definisao taksi stajalište prema prostoru kao mesto na javnoj saobraćajnoj ili drugoj posebno uređenoj površini, prema funkcionalnosti kao mesto određeno i uređeno za pristajanje taksi vozila, čekanje i prijem putnika, i prema obeležavanju u prostoru obeleženo saobraćajnom signalizacijom, kako bi bilo prepoznato kao takvo i sa strane korisnika, a i taksi vozača.Taksi stajalište, kako je definisano Zakonom o prevozu putnika u drumskom saobraćaju [1] ima dvojaku ulogu posmatrano sa planerskog aspekta, jer sa jedne strane zauzima prostor koji bi mogao biti iskorišćen kao parking prostor na kome se vrši naplata parkiranja, ili sa nekom drugom namenom u zavisnosti od zahteva posmatranog područja, a sa druge strane predstavlja interaktivnu vezu sa korisnicima taksi usluge koja treba da bude na mestu, koje je sa aspekta bezbednosti saobraćaja, garantuje sigurnost za ukrcavanje putnika i prtljaga, ili iskrcavanje putnika i prtljaga.

Ono što je primetno na teritoriji Republike Srbije, jeste da studije koje se bave određivanjem optimalnog broja taksi vozila na nekom području, i u nekom delu studije analiziraju taksi stajališta, isključivo analiziraju taksi stajališta u postojećem stanju. Pored toga, daju predloge i mere za preprojektovanje taksi stajališta u smislu poboljšanja opremljenosti i izgleda taksi stajališta po uzoru na primere

Jovan Mišić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: jovan.misic@akademijanis.edu.rs).

Pavle Pitka, Fakultet tehmičkih nauka, Katedra za tehnologije transportno-logističkih sistema, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad (imejl: pitka@uns.ac.rs).

Vladimir Popović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: vladimir.popovic@akademijanis.edu.rs).

Stefan Mihajlović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: stefan.mihajlovic@akademijanis.edu.rs).

uređenosti taksi stajališta u uređenijim taksi sistemima, dok analiza broja taksi mesta za stacioniranje taksi vozila i određivanje potencijalnih lokacija taksi stajališta, nije uključena u pomenutim studijama.

Takođe, ono što se mora napomenuti jeste da su taksi stajališta, uglavnom već propisana Odlukom Grada u smislu lokacije i kapaciteta taksi stajališta.

Ako se pogledaju sprovedena istraživanja [2], može se uočiti da su istraživači odluku za izbor lokacije taksi stajališta uglavnom zasnivali na iskustvu organa zaduženih za taksi prevoz putnika, iskustva vozača i korisnika taksi usluge, bez primenjivanja bilo kakvih kriterijuma i metodologije koja bi odredila broj, kapacitet i lokacije taksi stajališta.

Ono što se mora uočiti jeste da lokacija taksi stajališta ima interaktivnu ulogu sa korisnicima taksi usluga, kao i sva ostala stajališta i stanice ostalih podsistema javnog gradskog prevoza putnika. Taksi podsistem prevoza putnika je fleksibilan podsistem i pruža mogućnost korisnicima da svoje putovanje započnu i završe sa lokacije koja nije taksi stajalište, iz tog razloga lokacija taksi stajališta kod fleksibilnog podsistema prevoza putnika imaju ulogu u optimizaciji ukupnih pređenih kilometara i smanjenju neproduktivnih kilometara, kao i smanjenju ukupnih troškova taksi podsistema.

Kako bi se odredila optimalna lokacija i broja taksi stajališta na nekom području, u radu je predložena metodologija za određivanje lokacija i broja taksi stajališta. Prvo je urađen pregled literature gde su analizirane razne studije i radovi, koji su se bavile određivanjem optimalnog broja taksi vozila na nekom području i u nekom delu studije ili rada, je razrađena analiza lokacija i funkcionalnosti taksi stajališta. Zatim, je dat predlog metodologije za određivanje optimalnog broja i kapaciteta taksi stajališta sa funkcijom prostornog raspoređivanja taksi stajališta na nekom području.

2. PREGLED LITERATURE

U istraživanju koje su sproveli Zhaowei Qu, Xin Wang, Xianmin Song, Zhaotian Pan i Haitao Li [2], istraživane su karakteristike lokacija taksi stajališta. Istraživači, posebno ističu da nepostojanje optimalnog broja taksi vozila na nekom području, posebno dovodi do neusklađenosti između potražnje i ponude za taksi uslugom. Pored toga, ističu da taksi stajališta mogu efikasno da regulišu ponašanje taksi vozila u koje se ukrcavaju ili iskrcavaju putnici, smanje neproduktivne kilometre i obezbede pogodno i uredno mesto za čekanje. Međutim, posebno se ističe problem nesrazmernog postavljanja taksi stajališta, što dovodi do izuzetno niskog koeficijenta iskorišćenja taksi stajališta i nepodobnog korišćenja javnog prostora. Iz tog razloga je napravljen Lokacijski model taksi stajališta, zasnovan na genetskom alogaritmu, gde su u prvoj fazi istraživane lokacije sa kojih dolaze zahtevi za taksi uslugom, u drugoj fazi su upoređivani zahtevi za taksi uslugom i lokacijama taksi stajališta, da bi se u trećoj fazi formirao Lokacijski model taksi stajališta razvijen da minimizira ukupne troškove, koji sadrži cenu pristupa putnika i troškove izgradnje taksi stajališta. Studija slučaja je sprovedena u Kini. Ono što se može istaći kao nedostatak pomenutog modela jeste da je isključivo zasnovan na lokacije zahteva od strane korisnika za taksi uslugom, ne uzimajući u obzir analizu funkcionalnosti i determinante stacionarnosti taksi stajališta.

U Analizi optimalne organizacije sa predlogom cena taksi prevoza na teritoriji grada Niša [3], realizatori analize su izvršili analizu lokacija kapaciteta i funkcionalnosti taksi stajališta u postojećem stanju, gde su taksi stajališta određena po broju i nazivu Rešenjem Skupštine grada. Analizirano je postojeće stanje taksi stajališta u smislu broja obeleženih taksi mesta, pozicije stajališta i tehničke opremljenosti. Na osnovu sprovedene analize dat je predlog mera sa preporukama za poboljšanje taksi stajališta. Takođe, u ostalim Elaboratima rađenim na teritoriji Republike Srbije može se uočiti u istraživanju i deo koji se odnosi na istraživanje determinanti taksi mesta, kao i deo koji se odnosi na saobraćajno projektovanje i preprojektovanje taksi stajališta na nekom području. Ono što se mora istaći, jeste da nije korišćena ni jedna metodologija za pozicioniranje lokacija taksi stajališta, kao i za određivanje broja i kapaciteta taksi stajališta.

U istraživanju koje su sproveli Szeto W.Y., Wong R.C.P., Wong S.C. i Yang H. [4], prepoznaju se dva velika problema u vezi pružanja taksi usluge. Prvi problem, se odnosi na to da u gradovima gde je gustina naseljenosti velika, taksi vozilima je često dozvoljeno da kruže u potrazi za klijentima, što utiče na kapacitativnost drumskih saobraćajnica, odnosno taksi vozila nepovoljno utiču na saobraćajna zagušenja, kao i na zagađenje od saobraćaja. Drugi problem, se prepoznaje u neskladu između potražnje za taksi uslugom i ponude taksi usluge tokom vremena i prostora. Pored toga, istraživači uočavaju karakteristike modela taksi mreže, koji nastoji da minimizira vreme traženja klijenta, gde se izražava nedostatak modela u situaciji traženja klijenta u udaljenijim oblastima sa značajnim potencijalom potražnje za taksi uslugom i značajnim uticajem na profit od realizovanja taksi usluge. Iz ovih razloga, autori su razvili vremenske zavisne modele, na osnovu podataka dobijenih preko GPSa od 460 taksija na teritoriji Hong Konga. Takođe, u radu je dokazano da profit po jedinici vremena obrnuto proporcijalan sa procentom vremena mirovanja i značajan je faktor koji utiče na strategije traženja klijenta. Podaci koji su istraživani pomoću GPSa, odnosili su se na prosečne vrednosti rastojanja i vremena putovanja, prihoda kao i troškova za svaku vožnju sa putnikom. Istraživači su područje Hong Konga podelili na 18 saobraćajnih zona, gde je na osnovu verovatnoće saobraćajne zone u potrebi za taksi uslugom, istraživano traženje korisnika taksi usluge unutar saobraćajne zone, ili između saobraćajnih zona. Ono što je model traženja korisnika taksi usluga polazao, jeste da većina taksista pronalazi korisnika taksi usluge u saobraćajnoj zoni u kojoj je svoje putovanje završio poslednji klijent.

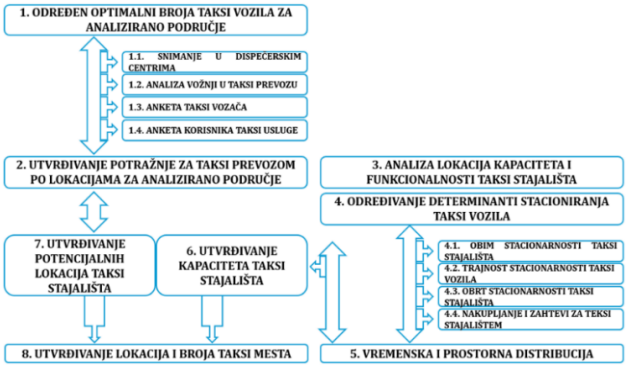
U svom radu Wong R.C.P., Szeto W.Y. i Wong S.C. [5], koji se bavi istraživanjem prostorne strukture taksi tržišta, gde je saobraćajna mreža podeljena na saobraćajne ćelije, posebno se uočava činjenica da slobodna taksi vozila praznom vožnjom traže svoje klijente i da što je duža prazna vožnja to je veća verovatnoća da će naći klijenta kome će pružiti transportnu uslugu. Takođe, verovatnoća da će slobodno taksi vozilo i nekoj saobraćajnoj ćeliji naći klijenta se smanjuje, ako u toj

saobraćajnoj ćeliji ima više slobodnih taksi vozila. Dužina svake strane kvadrata ćelije je 200 metara, a istraživanje i kalibrisanje modela je sprovedeno na osnovu GPS podataka prikupljenih od 460 taksi vozila u Hong Kongu. Ćelije na saobraćajnoj mreži su međusobno povezane, tako što omogućajavu taksi kretanje među ćelijama, a svaki taksi vozač odlučuje dali će svog klijenta tražiti u saobraćajnoj ćeliji u kojoj se iskrcao poslednji putnik ili u nekoj drugoj saobraćajnoj ćeliji. Taksi vozač u odlučivanju ima najviše pet mogućnosti, pa su istraživači shodno tome definisali promenljive, i to Verovatnoća uspeha, odnosi se na to da će se zahtev za taksi prevozom pojaviti u ćeliji u kojoj je iskrcan poslednji putnik, Broj očekivanih odluka u potrazi, odnosi se na prosečan broj pređenih ćelija pre nego što je taksi vozilo odgovorilo na zahtev za transportnom uslugom i Kumulativna verovatnoća uspeha koja je jednaka verovatnoći uspešnog preuzimanja transportnog zahteva i dodatoj verovatnoći dobijenoj iz sledećih ćelija, koja se odnosi na broj slobodnih taksi vozila u tim saobraćajnim ćelijama. Istraživanje pokazuje da su slobodna taksi vozila mogla lako da pronađu klijenta u okviru svog trenutnog okruga i da nisu morala da putuju na velike udaljenosti zbog transportnog zahteva.

U svom radu Xianyuan Zhan, Xinwu Qian i Satish V. Ukkusuri [6], koji se bavi merenjem efikasnosti taksi sistema, uočavaju da su sistemi taksi usluga u velikim gradovima izuzetno složeni usled interakcije i samoorganizacije između taksi vozača i putnika. Oni uočavaju, da neefikasan sistem taksi usluga dovodi do više neproduktivnih vožnji za vozače, koje dodatno kapacitativno opterećuju saobraćajnu infrastrukturu i dužeg vremena čekanja na uslugu za putnike. Na osnovu podataka nadležnih organa [7], u Hong Kongu u 2013. godini je bilo 15000 taksi vozila koji dnevno opsluže više od 1000000 putnika. Međutim, ono što autori uočavaju u ovom slučaju na području Hong Konga, jeste to da je čak 60% taksi vožnji bilo bez putnika, odnosno neproduktivno na dnevnom nivou, što i te kako utiče na povećenje troškova i vreme čekanja kod putnika. Neefikasan taksi sistem nastaje, čak i kada je tržište pravilno regulisano, ali postoji nedostatak u savršenom deljenju informacija između taksi vozača i putnika. Podaci o geo-lokaciji su razmatrani kao rešenje za asimetričnost informacija između taksi vozača i putnika. Istraživači su za procenu efikasnosti taksi sistema koristili dva modela, model optimalnog podudaranja i model integracije putovanja. Model optimalnog podudaranja ima za cilj da obezbedi optimalnu strategiju podudaranja između slobodnih taksi vozila i potencijalnih taksi putnika. Model integracije putovanja ima za cilj da pronađe optimalnu strategiju integracije taksi putovanja u sistemu javnog gradskog masovnog prevoza putnika.

3. METODOLOGIJA ZA ODREĐIVANJE LOKACIJE I OPTIMALNOG BROJA TAKSI MESTA

Kako bi se na nekom području istraživanja za koji je određen optimalan broj taksi vozila odgovorilo na planerski zahtev, odnosno koliko i gde bi trebalo postaviti kakvog kapaciteta taksi stajališta, napravljena je metodologija za određivanje optimalnog broja taksi mesta koja je prikazana na slici 1.



Slika 1. *Metodologija za određivanje lokacije i optimalnog broja taksi mesta*

Preduslov za korišćenje Metodologije za određivanje lokacije i optimalnog broja taksi mesta jeste da je na posmatranom području već određen optimalan broj taksi vozila koji obavlja transportni rad na analiziranom području. Ako nije određen optimalan broj taksi vozila na tom području, potrebno je primenom Modela za određivanje optimalnog broja taksi vozila, odrediti optimalan broj taksi vozila na tom području. Ono što je jako bitno, jeste da se izvrši istraživanje koje se odnosi na snimanje u dispečerskim centrima, analiza vožnje u taksi prevozu, anketa taksi vozača i anketa korisnika taksi usluge. Treba napomenuti da su pomenuti elementi modela već korišćeni kako bi se odredio optimalan broj taksi vozila. Ono što je potrebno jeste da se na osnovu prikazanih elemenata modela, podaci obrađeni na osnovu snimanja u dispečerskim centrima, analize vožnje u taksi prevozu i pomenutih anketa, na osnovu vremena čekanja na sledeću vožnju i zahteva za taksi uslugom od strane korisnika odredi potražnja za taksi uslugom po lokacijama za analizirano područje. Da bi se odredila potražnja za taksi uslugom po lokacijama, potrebno je posmatrano područje podeliti na saobraćajne zone i za svaku zonu utvrditi broj zahteva za taksi uslugom.

Nakon određivanja potražnje za taksi prevozom, potrebno je odrediti potencijalne lokacije taksi stajališta, odnosno lokacije sa kojih za analizirano područje postoji najveći broj zahteva od strane korisnika taksi usluge. Takođe, treba uzeti u obzir i element koji se odnosi na vreme čekanja na sledeću vožnju. U ovom delu bi trebalo za posmatrano područje razraditi model traženja vožnje, gde bi vozilo nakon iskrcavanja putnika ostalo određeni vremenski period, kako bi sačekalo sledeću vožnju sa lokacije gde je završilo poslednje iskrcavanje putnika, a sve u cilju minimizacije neproduktivnih kilometara.

Sa druge strane, potrebno je izvršiti analizu lokacija kapaciteta i funkcionalnosti taksi stajališta u postojećem sistemu taksi prevoza. Nakon toga, potrebno je izvršiti određivanje determinante stacioniranja taksi vozila, pre svega se misli na obim, trajnost, obrt i akumulaciju stacionarnosti. Na osnovu determinanti stacionarnosti moguće je analizirati trenutno iskorišćenje taksi mesta, kao i potrebe za povećanjem ili smanjenjem kapaciteta taksi stajališta.

Nakon toga potrebno je izvršiti vremensku i prostornu distribuciju, kako bi se utvrdilo vreme zadržavanja taksi vozila

po lokacijama i vremenskim intervalima, kao i iskorišćenje (zauzetost) taksi stajališta posmatrana u istim vremenskim intervalima za sve lokacije koje su obuhvaćene istraživanjem.

Na osnovu prosečne zauzetosti taksi stajališta od strane optimalnog broja taksi vozila na nekom području moguće je utvrditi potreban kapacitet taksi stajališta. Ako na posmatranom području ne funkcioniše optimalan broj taksi vozila, moguće je iz odnosa taksi vozila koja rade za vreme istraživanja i određenog optimalnog broja taksi vozila odrediti prosečnu zauzetost taksi stajališta.

Poznavajući kapacitet taksi stajališta sa potencijalno određenim lokacijama za taksi stajališta, dovodi do određivanja lokacija taksi stajališta i broja taksi mesta po taksi stajalištu.

4. ZAKLJUČAK

Primena Metodologije za određivanje lokacija i optimalnog broja taksi mesta bi dovela do redukovanja neproduktivnih kilometara u organizaciji rada taksi voznog parka i smanjenju vremena čekanja koje je duže od 10 minuta na zahtev za taksi uslugom, samim tim bi se minimizirali troškovi i maksimizirao profit od obavljenje taksi prevoza, što bi dovelo i do veće pristupačnosti od strane korisnika taksi podsistemu prevoza putnika.

Ono što jeste funkcija cilja taksi podsistema prevoza putnika, a to je da taksi vozila ne budu uopšte stacionirana ili da budu što manje stacionirana na taksi stajalištu, odnosno da je vreme čekanja na pružanje nove taksi usluge što manje, a da su realizovani svi zahtevi korisnika za taksi uslugom.

Ono što treba napomenuti jeste i balans između neproduktivnih kilometra i vremena čekanja na pružanje taksi usluge. Ako je vreme čekanja na novu taksi uslugu kratko, a taksi vozilo bi moglo da započne novu taksi vožnju u zoni u kojoj je završilo poslednju taksi vožnju, ovakva funkcionalna organizacija taksi podsistema bi dovela do redukovanja neproduktivnih kilometara, odnosno bilo bi jako malo praznih vožnji, što bi uticalo na minimiziranje troškova podsistema taksi prevoza. U pomenutom slučaju, lokacija i kapacitet taksi stajališta imaju jako bitnu ulogu u očuvanju i realizovanju postavljenih ciljnih funkcija, odnosno redukovanju neproduktivnih kilometara i minimiziranju troškova. Iz razloga, što se postavljanjem taksi stajališta na odgovarajućoj lokaciji usaglašava vremenska neravnomernost između zahteva za taksi uslugom i ponude taksi podsistema u prevozu putnika. Takođe, jako je bitno napomenuti i značaj kapaciteta stajališta, iz razloga što ako ne postoji odgovarajući broj taksi mesta, taksi vozilo će biti primorano da napusti postojeću zonu bez putnika, što će uticati na povećanje neproduktivnih kilometara. Ono što se mora istaći u pogledu kapaciteta i broja taksi mesta, jeste da svako predimenzionisanje kapaciteta i broja taksi mesta dovodi do troškova, iz razloga što bi pomenuti prostor mogao biti iskorišćen kao parking mesto na kome bi se vršila naplata parkiranja ili bi pomenuti prostor mogao imati drugačiju namenu, u zavisnosti od zahteva na analiziranoj lokaciji. U radu je izvršen pregled literature koji se odnosi na optimizaciju broja i kapaciteta taksi stajališta. Pomenuta metodologija je odgovorila na planerska pitanja gde i kog kapaciteta trebaju biti locirana taksi stajališta na nekom području.

LITERATURA

[1] Zakon o prevozu putnika u drumskom saobraćaju, („Službeni glasnik RS", br. 68/2015, 41/2018, 44/2018 - dr. zakon, 83/2018, 31/2019 i 9/2020)

[2] Zhaowei Qu, Xin Wang, Xianmin Song, Zhaotian Pan and Haitao Li, Location optimization for urban taxi stands based on taxi GPS trajectory big data, IEEE Access, 2019.

[3] Analiza optimalne organizacije sa predlogom cena taksi prevoza na terotoriji grada Niša, Visoka tehnička škola strukovnih studija Niš, 2016.

[4] Szeto W.Y., Wong R.C.P., Wong S.C. i Yang H., A time-dependent logit-based taxi customer-search model, International Journal of Urban Sciences, 2013, v. 17 n. 2, p. 184-198, 2013.

[5] Wong R.C.P., Szeto W.Y., Wong S.C., A cell-based logit-opportunity taxi customer-search model, Transportation Reserch Part C: Emerging Technologies, 2014, v. 48, p. 84-96, 2014.

[6] Xianyuan Zhan, Xinwu Qian and Satish V. Ukkusuri, Measuring the Efficiency of Urban Taxi Service System, 2013.

[7] Government of Hong Kong. Transport - Hong Kong: The facts. 2013.

[8] Miaoyi Li, Lei Dong, Zhenjiang Shen, Wei Lang and Xinyue Ye, Examining the Interaction of Taxi and Subway Ridership for Sustainable Urbanization, Sustainability 2017.

[9] Lin, D.; Allan, A.; Cui, J. Exploring Differences in Commuting Behaviour among Various Income Groups during Polycentric Urban Development in China: New Evidence and Its Implications. Sustainability 2016, 8,1188. [CrossRef]

[10] Steve Wright and John D. Nelson, An investigation into the feasibility and potential benefits of shared taxi services to commuter stations, Urban, Planning and Transport Research: An Open Access Journal, 2014 Vol. 2, No. 1, 147–161.

[11] MaaS Alliance, *What is Mobility as a Service (MaaS)?* Dostupno na: https://maas-alliance.eu/homepage/what-is-maas/

[12] Gordan Stojić, Model za utvrđivanje Public Service Compensation u integrisanim sistemima javnog prevoza putnika

[13] Vladimir Popović, Razvoj modela za organizaciju taksi transporta putnika, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, 2019.

[14] Xiao Liang, Gonçalo Homem de Almeida Correia and Bart van Arem, An optimization model for vehicle routing of automated taxi trips with dynamic travel times, Transport Research Procedia, 2017.

[15] Michal Maciejewski, Kai Nagel, A microscopic simulation approach for optimization of taxi services.

[16] Yang Yang, Zjenzhou Yuan, Xin Fu, Yinhai Wang and Dongye Sun, Optimization model of taxi fleet size based on GPS tracking data, MDPI, 2019.

KOMPARATIVNA ANALIZA ODVIJANJA SAOBRAĆAJA NA TROKRAKIM RASKRSNICAMA U GRADU NIŠU

COMPARATIVE ANALYSIS OF TRAFFIC FLOW AT THREE-WAY INTERSECTIONS IN THE CITY OF NIŠ

Stefan Mihajlović, Dejan Bogićević i Jovan Mišić

Sadržaj – Trokrake raskrsnice predstavljaju jedan od najčešće primenjivanih tipova ukrštanja saobraćajnica u urbanim sredinama i imaju značajnu ulogu u obezbeđivanju kontinuiteta i stabilnosti saobraćajnih tokova. Zbog svoje jednostavnije geometrije i manjeg broja konfliktnih tačaka u odnosu na složenije raskrsnice, one u većini slučajeva omogućavaju efikasno, pregledno i bezbedno odvijanje saobraćaja, naročito u uslovima srednjeg intenziteta saobraćajnih opterećenja. U okviru ovog preglednog rada analizirane su dve trokrake raskrsnice u gradu Nišu, sa ciljem prikazivanja njihovih karakterističnih elemenata i funkcionalnosti u realnom urbanom okruženju. Posmatrane raskrsnice karakterišu jasno definisana geometrija, adekvatno rešena horizontalna i vertikalna signalizacija i dobro usmereni saobraćajni tokovi, što doprinosi pravilnom i neometanom funkcionisanju saobraćaja. Zapaženo je da na analiziranim lokacijama ne postoje izraženi problemi u protoku vozila niti u bezbednosnim aspektima, što ukazuje na njihovu funkcionalnu stabilnost i uspešnost primenjenih rešenja. Kroz prikaz odabranih primera ukazuje se na značaj pravilnog projektovanja, preglednosti i odgovarajuće regulacije za optimalno funkcionisanje trokrakih raskrsnica u urbanim sredinama. Dobijena zapažanja mogu poslužiti kao osnov za razumevanje uloge ovakvih raskrsnica u savremenom saobraćajnom sistemu, kao i za razmatranje mogućnosti unapređenja sličnih lokacija u budućem planiranju saobraćajne infrastrukture.

Ključne reči: Protok saobraćaja, Bezbednost saobraćaja, Vremenski gubici, Trokraka raskrsnica

Abstract – Three-leg intersections represent one of the most commonly applied types of roadway junctions in urban areas and play a significant role in ensuring the continuity and stability of traffic flows. Due to their simpler geometric layout and a smaller number of conflict points compared to more complex intersection forms, they generally enable efficient, clear, and safe traffic operation, particularly under conditions of moderate traffic demand. Within this review paper, two three-leg intersections in the city of Niš are examined with the objective of presenting their characteristic elements and functional performance in a real urban environment. The observed intersections are defined by clear geometric organization, appropriately designed horizontal and vertical traffic control elements, and well-directed traffic streams, all of which contribute to their orderly and unobstructed operation. It was noted that the analyzed locations do not exhibit pronounced issues related to traffic flow or safety, indicating their functional stability and the effectiveness of the applied design solutions. Through the presentation of these examples, the paper highlights the importance of proper design, adequate visibility, and appropriate traffic regulation for the optimal functioning of three-leg intersections in urban settings. The findings may serve as a basis for understanding the role of such intersections within the contemporary traffic system, as well as for considering potential improvements in the future planning of urban traffic infrastructure.

Keywords: Traffic flow; Traffic safety; Time delays; Three-leg intersection

1. UVOD

Problem površinskih raskrsnica je nastao povećanjem upotrebe motornih vozila u cilju zadovoljavanja potreba stanovništva [1]. Razvojem industrije, unapređenjem i usavršavanjem tehnologija, omasovljena je proizvodnja motornih vozila i prilagođena potrebama ljudi [2].

Masovna proizvodnja je posledično dovela do smanjenja cene pojedinačnog motornog vozila. Posedovanje vozila više nije predstavljalo stvar luksuza i prestiža, već je motorno vozilo postalo dostupno širokoj populaciji [3].

Stefan Mihajlović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: stefan.mihajlovic@akademijanis.edu.rs).

Dejan Bogićević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: dejan.bogicevic@akademijanis.edu.rs).

Jovan Mišić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: jovan.misic@akademijanis.edu.rs).

Ipak, kao posledica se javlja i to da je nemotorizovan saobraćaj, koji je do tada bio dominantan, zamenjen motorizovanim saobraćajem [1]. Do pojave motornih vozila nije bilo većih problema u odvijanju saobraćaja. Razlog tome bilo je nepostojanje konflitnih tačaka u saobraćajnim tokovima. Međutim, veća upotreba motornih vozila stvarala je sve veće probleme u samom odvijanju i regulisanju saobraćaja, jer je veliki broj vozila na putevima. [4].

Stoga je bilo potrebno kreirati inženjerska rešenja, te tako nastaju raskrsnice i dobijaju svoju veoma važnu ulogu u regulisanju saobraćaja. U početku su to bile nesignalisane raskrsnice, regulisane pravilima saobraćaja, bez vertikalne i horizontalne signalizacije. Kasnije se pojavljuju signalisane raskrsnice, a u poslednjih 20 godina i savremene kružne raskrsnice različitih tipova (klasične, turbo, višeprstenaste) koje pokazuju značajno povećanje bezbednosti i protoka. Pored površinskih raskrsnica, sve veću primenu imaju i denivelisane raskrsnice zbog nedovoljnog prostora i položaja terena [5], [6].

U gradovima najviše ima signalisanih raskrsnica, zatim kružnih raskrsnica, dok je broj nesignalisanih raskrsnica u opadanju. Razlog tome je povećan protok saobraćaja i veća učestalost ukrštanja motorizovanog i nemotorizovanog saobraćaja [1], [5]. Od signalisanih raskrsnica koriste se semaforisane raskrsnice (regulisanje saobraćaja se vrši uz pomoć semafora) i raskrsnice regulisane vertikalnom i horizontalnom signalizacijom.

Najčešći oblici semaforisanih raskrsnica su trokrake i četvorokrake, a njihova bezbednost i efikasnost u novijim studijama detaljno se analiziraju korišćenjem savremenih metoda, poput konfliktne analize i mašinskog učenja [6].

2. ANALIZIRANE TROKRAKE RASKRSNICE

Za komparativnu analizu protoka saobraćaja uzete su dve jako slične trokrake raskrsnice, koje predstavljaju jedne od glavnih saobraćajnica u gradu Nišu.

Prva trokraka raskrsnica je ukrštanje ulica Knjaževačke i Studeničke, koja se nalazi u opštini Pantelej i spaja Somborski Bulevar i naselje Durlan. U neposrednoj blizini se nalaze nekoliko stambenih blokova, trgovinskih radnji i pošta.

Druga trokraka raskrsnica je ukrštanje Bulevara 12 februar i ulice Aleksandra Medvedeva, koja se nalazi u opštini Crveni Krst. U neposednoj blizini se nalaze nekoliko fakulteta, srednjih škola, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, logor Crveni Krst i glavna autobuska stanica.



Slika 1. *Raskrsnica Knjaževačke i Studeničke ulice*



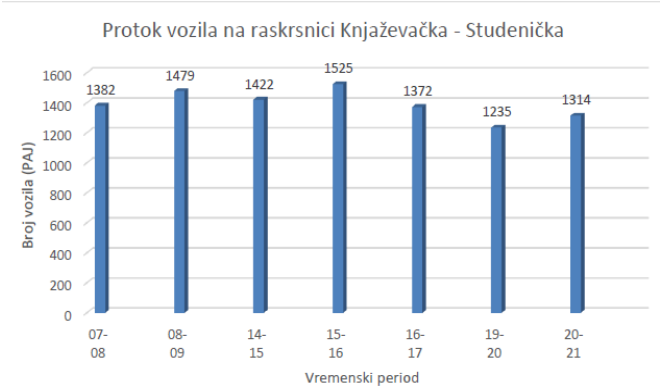
Slika 2. *Raskrsnica Bulevara 12. februara i ulice Aleksandra Medvedeva*

Po geometriji su jako slične, obe raskrsnice su oblika slova „T", imaju isti raspored saobraćajnih traka i smerova. Osnovna razlika između posmatranih raskrsnica odnosi se na broj pešačkih prelaza- prva ih ima dva, dok druga poseduje tri pešačka prelaza. Nalaze se na različitim delovima grada, prometne su, naročito u vršnim časovima (07-09h i 14-17h), jer ih uglavnom ljudi koriste prilikom odlaska na posao i povratka kući, kao i za ulaz i izlaz iz grada. Jako su značajne saobraćajnice u gradu, zbog svog položaja i povezanosti u gradu.

3. TOK I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Komparativna analiza je urađena za saobraćajno opterećenje u trajanju od tri vršna opterećenja u toku dana. Za jutarnji vršni period uzet je vremenski interval od 07 do 09h, za popodnevni period od 14 do 17h, a za večernji vršni period vremenski interval od 19 do 21h [7]. Vremenski periodi nisu nasumično određeni, već je izvršeno posmatranje raskrsnica duži vremenski period, kako bi se tačno utvrdili ti intervali. Naravno, vremenski intervali vršnih opterećenja razlikuju se od tipa raskrsnice, dela grada u kome se nalaze, kao i objekata koji se nalaze u neposrednoj blizini [8].

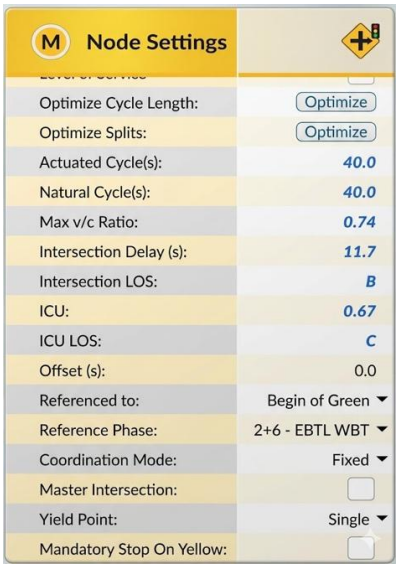
Na pomenutim raskrsnicama izvršeno je nezavisno istraživanje (brojanje), a pomoću brojačkih obrazaca su dobijene vrednosti protoka vozila na raskrsnici, kao i uticaj pešaka i nemotorizovanog saobraćaja na bezbedno i efikasno odvijanje saobraćaja na raskrsnici [9].



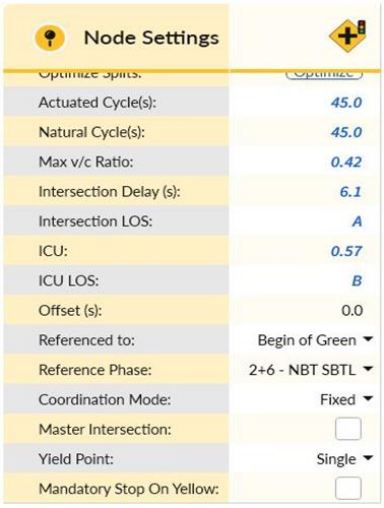
Slika 3. *Protok vozila u vršnim opterećenjima*

Na Slici 3 prikazan je protok vozila u vršnom opterećenju na raskrsnici Knjaževačke i Studeničke ulice, gde možemo da uočimo da je veliki protok vozila u popodnevnom vršnom opterećenju i da je razlog toga povratak ljudi sa posla.

Pomoću softverskog paketa Synchro 11 dobijeni su nivoi usluge i vremenski gubici u vršnom opterećenju (15-16h) na osnovu kojih možemo da zaključimo da su nivoi usluga na posmatranim raskrsnicama dobri. Na raskrsnici Knjaževačke i Studeničke ulice nivo usluge je B, a vremenski gubici su 11,7s. Dok je na raskrsnici Bulevar 12. februar i Aleksandra Medvedeva nivo usluge A, a vremenski gubici su 6,1s. Rezultati su prikazani na slikama 4 i 5.



Slika 4. *Nivo usluge i vremenski gubici raskrsnice Knjaževačke- Studeničke ulice*



Slika 5. *Nivo usluge i vremenski gubici raskrsnice Bulevar 12.februar-Aleksandra Medvedeva*



Slika 6. *Protok vozila u vršnim opterećenjima*

Protok vozila na raskrsnici Bulevar 12. februar i Aleksandra Medvedeva prikazan je na slici 6, gde se uočava da je najviše vozila bilo u popodnevnom vršnom opterećenju što odgovara pretpostavci da u tom periodu se ljudi vraćaju i odlaze na posao, obavljaju svakodnevne aktivnosti. Izražen je period od 15-16h kao najopterećeniji u toku dana u saobraćajnom smislu.

4. ZAKLJUČAK

Sprovedena komparativna analiza dve trokrake raskrsnice u gradu Nišu pokazala je da obe lokacije obezbeđuju stabilno i efikasno odvijanje saobraćaja u uslovima svakodnevnog urbanog opterećenja. Jasna geometrija, dobro definisana signalizacija i manji broj konfliktnih tačaka omogućavaju uredan protok vozila i pešaka, bez izraženih zastoja i bezbednosnih rizika. Uočeno je da posmatrane raskrsnice predstavljaju primer funkcionalno stabilnih urbanih saobraćajnih čvorišta, naročito u periodima srednjeg intenziteta saobraćaja. Iako nisu identifikovani značajniji problemi u njihovom funkcionisanju, preporučuje se periodično praćenje saobraćajnih tokova kako bi se blagovremeno uočile eventualne promene uslovljene razvojem okoline. Dobijena zapažanja mogu poslužiti kao osnova za procenu i unapređenje sličnih raskrsnica u urbanom saobraćajnom sistemu [7].

LITERATURA

[1] Jović, J., Teorija saobraćaja, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2010.

[2] International Transport Forum (ITF), Road Safety Annual Report, OECD Publishing, 2023.

[3] Soteropoulos, A., “Sustainable Mobility and the Rise of Private Car Usage,” Journal of Transport Geography, 2021.

[4] Stevanović, A., Upravljanje saobraćajem na raskrsnicama, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2015.

[5] Rodegari, G., Roundabouts: Engineering and Design, Sprin-ger, 2020.

[6] Flannery, A. et al., Impact of Roundabout Geometry on Traffic Safety, Journal of Road Safety, 2025.

[7] R. P. Roess, E. S. Prassas, and W. R. McShane, Traffic Engineering, 5th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2019.

[8] Z. Zheng and S. Ahn, “Traffic flow variations and peak spread analysis,” Journal of Transportation Engineering, vol. 143, no. 6, 2017.

[9] C. O’Flaherty, Transport Planning and Traffic Engineering. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2022.

ZNAČAJ REGIONALNE INTEGRACIJE SISTEMA JAVNOG PREVOZA PUTNIKA U KONTEKSTU ODRŽIVE URBANE MOBILNOSTI

REGIONAL INTEGRATION OF PUBLIC TRANSPORT SYSTEMS IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE URBAN MOBILITY

Stefan Đorđević

Sadržaj – U gradovima Republike Srbije poslednjih godina raste interesovanje za implementaciju Planova održive urbane mobilnosti (POUM). Ovaj strateški dokument prepoznat je kao značajan za dugoročno oblikovanje lokalne transportne politike u urbanim sredinama. Za razliku od tradicionalnog pristupa u planiranju gde je fokus isključivo na infrastrukturu, POUM podrazumeva tri osnovna principa, među kojima je i princip *integracije*. Praktično, to znači da iako se odnosi na urbane sredine podrazumeva i širi prostorni obuhvat koji prevazilazi administrativne granice grada prilikom dugoročnog planiranja mobilnosti. Međutim, postojeća administrativno-teritorijalna organizacija i važeća zakonska regulativa u Srbiji ograničavaju punu primenu ovog principa u oblasti javnog prevoza, čime se umanjuje mogućnost ostvarivanja integrisanog sistema javnog prevoza na širem, tj. regionalnom nivou.

Ključne reči: Urbana mobilnost, regionalna integracija, javni prevoz

Abstract – In recent years, cities in the Republic of Serbia have shown increasing interest in the implementation of Sustainable Urban Mobility Plans (SUMPs). This strategic document has been recognized as essential for the long-term shaping of local transport policy in urban environments. Unlike the traditional planning approach, which focuses exclusively on infrastructure, a SUMP is based on three fundamental principles, one of which is the principle of integration. In practical terms, although primarily intended for urban areas, this principle implies a broader spatial scope that extends beyond the administrative boundaries of a city when conducting long-term mobility planning. However, the existing administrative–territorial organization and current legal framework in Serbia limit the full application of this principle in the field of public transport, thereby reducing the potential for establishing an integrated public transport system on a wider, i.e., regional scale.

Keywords: Urban mobility, regional integration, public transportation

1. UVOD

Kada se u savremenim diskusijama govori o mobilnosti, u fokusu su najčešće urbane sredine, što je na neki način i opravdano budući da upravo one generišu najveću potražnju za transportnim uslugama dok istovremeno proizvode najsloženije saobraćajne, ekološke, socio-ekonomske i druge izazove. U vezi sa tim, Evropska unija je tokom poslednje decenije, kroz ključne strateške dokumente, afirmisala koncept održive urbane mobilnosti kao normativni okvir za razvoj transportnih politika, čime je planiranje mobilnosti postalo jedan od ključnih instrumenata održivog urbanog razvoja.

U gradovima Republike Srbije poslednjih godina raste interesovanje za implementaciju pomenutih evropskih praksi, naročito kroz izradu i primenu Planova održive urbane mobilnosti (POUM, eng: Sustainable Urban Mobility Plans), koje donosioci odluka sve češće prepoznaju kao strateški dokument od značaja za dugoročno oblikovanje lokalne transportne politike. Mobilnost, međutim ne sme biti ograničena administrativnim granicama užeg urbanog područja – grada. Pođimo od činjenice da razvoj urbanih sistema u Republici Srbiji ima izuzetno izražen monocentrični karakter.

To znači da jedan ili nekoliko većih gradova u okviru regiona dominiraju svojom veličinom, funkcijama i sadržajem, dok ostale manje opštine, koje ih okružuju, gravitiraju ka njima i imaju usporen razvoj ili čak nazaduju.

Primera radi, Niški upravni okrug obuhvata grad Niš i šest okolnih opština, od kojih se dve, Merošina i Svrljig prema „*Uredbi o utvrđivanju razvijenosti regiona*“ smatraju devastiranim područjima a ostale četiri (Gadžin Han, Doljevac, Aleksinac i Ražanj) se svrstavaju u grupu nedovoljno razvijenih lokalnih samouprava. Shodno tome, ovaj rad polazi od pretpostavke da bez regionalnog povezivanja nema istinski održive urbane mobilnosti.

2. ZNAČAJ REGIONALNE INTEGRACIJA JAVNOG PREVOZA PUTNIKA

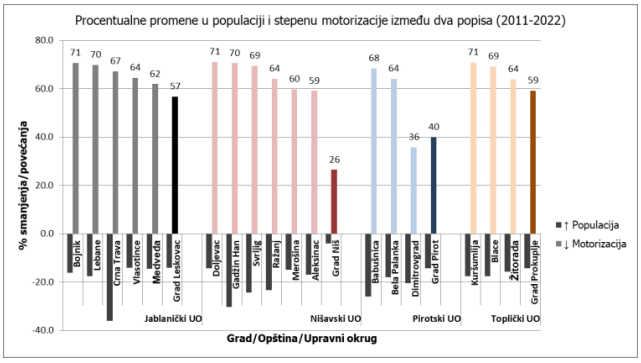
Koncept regionalne integracije javnog prevoza putnika podrazumeva međusobnu povezanost urbanih, periurbanih i ruralnih područja, budući da ove teritorije ne funkcionišu kao izolovani prostorni entiteti, već čine međusobno uslovljen sistem u kome svaka teritorijalna jedinica, nezavisno od svog demografskog, ekonomskog ili infrastrukturnog potencijala doprinosi ukupnom regionalnom razvoju. Regionalna integracija javnog prevoza putnika podrazumeva uspostavljanje zajedničkog operativnog okruženje u kojem međusobno povezani prevoznici (javnog i privatnog sektora) i podsistemi (autobuski, železnički, alternativni vidovi prevoza) funkcionišu prema jedinstvenoj organizaciji na šire definisanom geografskom području.

Bez zajedničkog operativnog okruženja javni prevoz putnika na lokalnim područjima se fragmentira u niz

Stefan Đorđević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: stefan.djordjevic@akademijanis.edu.rs).

nepovezanih usluga. U takvom deregulisanom okruženju ponuda formalno postoji, ali je zbog složenosti i neusklađenosti korisnicima teško dostupna. Posledica takvog stanja jeste postepeno narušavanje poverenja korisnika i kontinuirani pad broja putnika u javnom prevozu. Istovremeno, u takvim uslovima prevoznici bivaju primorani da povećavaju cene voznih karata, smanjuju kvalitet usluge (pre svega smanjujući kvalitet voznog parka) i ukidaju polaske kako bi osigurali rentabilnost. Onog trenutka kada i pored redukcija više nema ekonomske opravdanosti prevoznik se povlači sa određenog područja. U tom slučaju građani se sami organizuju koristeći privatni automobil kao primarnu alternativu.

Uporednom analizom podataka sa popisa stanovništva 2011. i 2022. godine u četiri susedna upravna okruga – Nišavski, Toplički, Jablanički i Pirotski – može se utvrditi da je na ovom širem geografskom području broj stanovnika opao za 12,1%, dok je u istom vremenskom periodu broj registrovanih putničkih automobila porastao za 30,8%. Karakteristično je da najdevastiranija područja imaju najveći porast stepena motorizacije (Slika 1), što govori da iako populacija opada potreba za mobilnošću raste.



Slika 1. *Promene u populaciji u odnosu na stepen motorizacije u periodu 2011-2022*

U pojedinim opštinama, kao što su Kuršumlija, Doljevac, Gadzin Han, Bojnik i Lebane beleži se povećanje stepena motorizacije od neverovatnih 70%. Prilikom izrade POUM-a, automobilski saobraćaj koji se svakodnevno generiše iz lokalnih područja u velike regionalne centre kao što je grad Niš, uglavnom se ne uzima u obzir, iako značajno utiče na saobraćajnu sliku i održivost gradskog transportnog sistema.

3. MOBILNOST U PERIURBANIM I RURALNIM PODRUČJIMA

Da bi se u potpunosti shvatio značaj regionalne integracije javnog prevoza putnika pri izradi POUM-a, moraju se najpre razumeti ciljevi planiranja mobilnosti koji se značajno razlikuju u zavisnosti od stepena urbanizacije.

Zbog velike gustine naseljenosti i visokog stepena motorizacije, danas najveći broj gradova i gradskih područja u Srbiji ima ozbiljne saobraćajne probleme koji su posledica prekomerne upotrebe putničkih automobila, što značajno smanjuje pokretljivost i održivost saobraćaja. Kao rešenje za nastale probleme nameće se povećanje udela javnog gradskog prevoza putnika u realizaciji svakodnevnih putovanja [5].

Suprotno tome, u periurbanim i naročito ruralnim sredinama, ključni izazov nije samo povećati konkurentnost javnog prevoza u odnosu na putnički automobil, već i obezbediti minimalnu mobilnost, odnosno pristup ključnim egzistencijalnim funkcijama kao što su obrazovanje, zapošljavanje, zdravstvena zaštita, kulturni sadržaji i dr. [2]. Analizom stepena urbanizacije Niškog upravnog okruga može se utvrditi da 40% stanovnika živi u naseljima koja nisu urbanog tipa (Popis stanovništva, 2022). Uz grad Niš, gradska (urbana) naselja postoje i na teritorijama opština Aleksinac i Svrljig. Ostale četiri opštine – Gadžin Han, Merošina, Doljevac i Ražanj – nemaju naselja gradskog tipa.

U postojećim uslovima manje opštine i naselja nemaju organizovan javni gradski i prigradski prevoz već dominira međumesni prevoz. Opštine izdvajaju značajna sredstva za finansiranje troškova prevoza određenih kategorija stanovnika (zaposleni u javnim preduzećima, đaci i studenti itd) [3].

U knjizi „*Human Transit: How Clearer Thinking About Public Transit Can Enrich Our Communities and Our Lives*“ Valker (Jarrett Walker, 2012) navodi da putovanja nisu motivisana željom za kretanjem već potrebom da se obavi neka aktivnost, odnosno interakcija. Drugim rečima, u većini slučajeva ljudima ne treba kretanje već pristup.

Praktična iskustva stečena kroz rad u saobraćajnoj operativi potvrđuju ovu tvrdnju, budući da se najveći broj zahteva i primedbi korisnika lokalnog (međumesnog) javnog prevoza odnosi upravo na pitanja pristupa. Tipični zahtevi najčešće dolaze od zaposlenih i đaka, tj njihovih roditelja:

- pomeranje vremena polaska – najčešće za 5 do 10 minuta (npr. „*kako đaci ne bi morali da napuštaju nastavu ranije*“ ili „*da bi zaposleni stigli na određeni polazak jer je sledeći tek za sat vremena*“ itd),
- izmene ili produženja trase (npr. u večernjim polascima u cilju skraćenja neprijatnog pešačenja neosvetljenim seoskim putevima, zatim zahtevi da se izvrši određena devijacija na trasi – tzv. džepovi na liniji),
- produženje trase kroz gradsko područje,
- uvođenje dodatnih stajališta na trasi,
- uvođenje dodatnih polazaka radnim danima (npr. jer bi to značilo zaposlenima čije smene počinju i završavaju se van uobičajenog radnog vremena ili bi to „*značilo đacima jer se često dešava da petkom nemaju poslednja dva školska časa*“ i sl.),
- uvođenje dodatnih polazaka tokom vikenda, u večernjima satima ili van vršnim periodima.

Složenost problema planiranja mobilnosti u manjim lokalnim područjima u uslovima deregulisanog sistema, može se praktično ilustrovati kroz dva karakteristična primera – opštine Merošina i Doljevac. Iako administrativno pripadaju jednom upravnom okrugu, funkcionalno su gotovo podjednako povezane i sa teritorijama susednih okruga. Dnevne migracije lokalnog stanovništva između i unutar ovih susednih teritorija nastaju kao posledica ostvarivanja osnovnih egzistencijalnih potreba ka što su odlazak u školu, na posao, u vrtić, kod lekara, odlazak na pijacu itd. Ova kretanja diminantno se realizuju korišćenjem putničkog automobila, međumesnog autobuskog prevoza i posebnog linijskog prevoza.

Međumesne autobuske linije prate svakodnevni životni ritam lokalnog stanovništva i često se održvaju po posebnom režimu, odnosno u skladu sa školskim smenama, smenama zaposlenih, pijačnim ili određenim danima u nedelji ili mesecu, sezonskim poslovima i sl. Međutim, prema važećim propisima kojima se uređuje oblast javnog prevoza u Republici Srbiji, trasa autobuske linije koja prolazi kroz dve katastarski različite opštine mora se registrovati kao međumesna bez obzira na potrebe stanovnika, izvorno-ciljna kretanja i komunalni karakter linije.

3.1 Opština Merošina

Opština Merošina pripada Nišavskom upravnom okrugu. Zauzima površinu od 193 km^2 i podeljena je na 28 seoskih naselja – mesnih zajednica. Prema podacima sa popisa stanovništva iz 2022. godine u opštini živi 11873 stanovnika. Na teritoriji opštine nalazi se osnovna škola „Jastrebački partizani".

Geografski posmatrano, opština se nalazi na jednakoj udaljenosti između Niša i Prokuplja. Posmatrano sa geopolitičkog i društveno-ekonomskog aspekta, iako pripada Nišavskom upravnom okrugu, Merošina je jednako povezana i sa Topličkim upravnim okrugom. Drugim rečima, opština gravitira ka oba urbanizovana centra. Niš i Prokuplje nalaze se na međusobnoj udaljenosti od oko 30 km. Imaju uspostavljen i organizovan sistem javnog gradskog i prigradskog prevoza čije se granice zona neposredno graniče sa opštinom Merošina.

Pored putničkog automobila, kao alternativu za ostvarivanje svojih dnevnih potreba za kretanjem, stanovnici opštine Merošina imaju linije međumesnog autobuskog prevoza. Prevozne usluge koje se pružaju na ovim linijama ne smatraju se komunalnim delatnostima i ne podležu nikakvoj vrsti finansiranja, već su organizovane na potpuno komercijalnoj osnovi. Cene voznih karata formira svaki prevoznik nezavisno, na bazi realnih troškova poslovanja, konkurencije na tržištu i u funkciji ostvarivanja što većeg profita.

Učenici OŠ Jastrebački Partizani prevoze se po modelu „*poseban linijski prevoz dece*". Zaposleni koji rade u kompanijama koje imaju organizovan prevoz radnika (npr. Leoni AG sa pogonom u Prokuplju, Nišu i Malošištu), takođe se prevoze po modelu „*poseban linijski prevoz*". Sa druge strane, i pomenuti učenici i zaposleni, za sva ostala putovanja koja nisu odlazak na posao ili odlazak u školu, koriste međumesne autobuske linije.

3.2 Opština Doljevac

Opština Doljevac nalazi se na raskrsnici najbitnijih putnih pravaca u Srbiji. Teritorijalno pripada Nišavskom upravnom okrugu i na severu se graniči sa opštinom Merošina i gradskom opštinom Palilula, na istoku sa opštinom Gadžin Han. Na jugu se graniči sa gradom Leskovcem, a na zapadu sa opštinom Žitorađa, koje teritorijalno pripadaju Jablaničkom i Topličkom upravnom okrugu.

Iako po površini najmanja u celom Nišavskom upravnom okrugu (121 km^2), opština Doljevac ima 16 sela, osnovnu školu „Vuk Karadžić", vrtić „Lane", tri pošte, pijacu, javnu biblioteku, dom zdravlja, apoteku, javno komunalno preduzeće i druge ustanove. Prema podacima sa popisa stanovništva iz 2022. godine u opštini živi 15837 stanovnika. Kada se ovi podaci uporede sa podacima popisa iz 2011. godine to je 14,2% stanovnika manje. U istom vremenskom periodu opština ima 46,7% više registrovanih putničkih automobila.

Trasa „*Doljevac – Draškovac – Donji Drenovac*" koja spaja tri susedna seoska naselja dugačka je svega 11 km i prolazi kroz 3 katastarski različite opštine od kojih svaka pripada različitom upravnom okrugu. Seosko naselje Doljevac dakle pripada opštini Doljevac, odnosno Nišavskom upravnom okrugu, Draškovac pripada opštini Leskovac, odnosno Jablaničkom upravnom okrugu. Donji Drenovac pripada opštini Žitorađa, odnosno Topličkom upravnom okrugu. Da bi se u postojećim uslovima, ovom trasom uspostavila redovna autobuska linija, zakonski okvir je takav da se ona mora registrovati kao međumesna, što je u nadležnosti resornog ministarstva. Opština, tj. lokalna samouprava nema mogućnost da utiče na odluke koje se donose na ovom nivou odlučivanja.

4. REGIONALNI PLANOVI ODRŽIVE URBANE MOBILNOSTI

Plan održive urbane mobilnosti je strateški dokument koji se nadovezuje na postojeću praksu u planiranju saobraćaja i za razliku od tradicionalnog pristupa u planiranju gde je fokus isključivo na infrastrukturu, POUM podrazumeva tri osnovna principa [6]:

1. *Integracija* podrazumeva sagledavanje saobraćajnog sistema iz šire perspektive, uzimajući u obzir i uticaje na životnu sredinu, socijalne i ekonomske efekte, kao i prostorni obuhvat koji prevazilazi granice grada i širi se na regionalni ili čak nacionalni nivo.
2. *Participacija* podrazumeva potrebu da se svi akteri u urbanom sistemu uključe, definišu probleme iz svoje perspektive i daju predloge rešenja na osnovu kojih se definiše paket mera za unapređenje mobilnosti.
3. *Evaluacija* podrazumeva kontinuirano merenje efekata sprovedenih mera koje su definisane planom.

Vodeću ulogu, kada je u pitanju održivo planiranje mobilnosti, imaju Francuska, Belgija i Španija u kojima, između ostalog postoji zakonska obaveza izrade POUM-a.

Francuska je 2024. godine usvojila dokument „2030 Mobility Plan" koji pokriva celu funkcionalnu oblast najvećeg Pariskog regiona Île-de-France, što je površina veličine 12011 km^2. Pariska regija sastoji se od Pariza i sedam okolnih okruga (departmana) organizovanih u unutrašnji (*petite couronne*) i spoljašnji prsten (*grande couronne*). Upravljanje javnim prevozom na teritorije cele regije je u nadležnosti vladinog regionalnog tela Île-de-France Mobilités [9].

U Belgijskoj regiji Flandrija je početkom 2019. godine usvojen zakonodavni okvir koji propisuje obavezu donošenja Regionalnih planova mobilnosti (R-SUMP). Regulativa predviđa uspostavljanje 15 „transportnih regiona". Svaki region obuhvata gradove i opštine koji se sa šire socio-ekonomske perspektive mogu posmatrati jednom funkcionalnom celinom [7]. Transportni region Gent (eng.

Ghent Transport Region), koji se sastoji od 23 opština, je u Decembru, 2023. godine usvojio Regionalni plan mobilnosti za period 2030-2050 u okviru kojeg su periurbana i ruralna područja sagledana kao poseban izazov [8].

5. ZAKLJUČAK

Analiza sprovedena u okviru ovog rada jasno ukazuje na značaj regionalne integracije javnog prevoza putnika za suštinsko ostvarivanje održive urbane mobilnosti.

Iako interesovanje za izradu POUM-a raste, postojeća administrativno-teritorijalna organizacija i važeća zakonska regulativa u Srbiji ograničavaju punu primenu principa *integracije* u oblasti javnog prevoza, čime se umanjuje mogućnost ostvarivanja integrisanog sistema na širem, tj. regionalnom nivou.

Primeri opština Merošina i Doljevac savršeno ilustruju izazov rešavanja problema mobilnosti u manjim lokalnim područjima koja nemaju urbani karakter (periurbana i ruralna naselja) a pritom zavise od urbanih centara. Iako administrativno pripadaju Nišavskom upravnom okrugu, funkcionalno su gotovo podjednako integrisane i sa teritorijama susednih okruga, što naglašava potrebu za regionalnim pristupom u planiranju transporta.

Regionalni Planovi održive urbane mobilnosti (R-SUMP) u evropskim praksama, kao što su Île-de-France i Ghent Transport Region, pokazuju da integrisano planiranje omogućava uspostavljanje efikasnog i dugoročno održivog transportnog sistema.

Primena ovakvog pristupa u Republici Srbiji zahteva unapređenje institucionalnih i pravnih mehanizama koji omogućavaju koordinaciju između više administrativnih jedinica, uz uvažavanje specifičnih potreba lokalnog stanovništva.

LITERATURA

[1] J. Walker, „Human Transit: How Clearer Thinking About Public Transit Can Enrich Our Communities and Our Lives“, Island Press, Washington, 2012.

[2] P. White, “ Public Transport Its planning, management and operation”, Routledge, London, 2009.

[3] I. Milenković, P. Pitka, T. Savković, A. Vujičić, „Koncept regionalne integracije sistema javnog prevoza putnika u Republici Srbiji“, Put i saobraćaj, LXIII, 4/2017, 55-59

[4] Statistical Office of the Republic of Serbia “Municipalities and regions of the Republic of Serbia”, Belgrade, 2022.

[5] M. Simeunović, P. Pitka, Milja S, „Zbirka zadataka iz javnog transporta putnika“, FTN, Novi Sad, 2021

[6] K. Danilović, V. Đorić, publikacija: „Održiva urbana mobilnost – šansa za razvoj održivih gradova u Srbiji“, BFPI, Beograd, 2020

[7] european-union.europa.eu - Flanders introduces new regulatory framework for Regional SUMPs, 2019

[8] european-union.europa.eu - Ghent's approach to sustainable mobility planning: Aligning regional and city-level SUMPs, 2025

[9] upperprojecteu.eu - Overview of the current situation in Île de France, 2023

PRIMENA ELEKTRIČNIH VOZILA I NJIHOV UTICAJ NA E-MOBILNOST

APPLICATION OF ELECTRIC VEHICLES AND THEIR IMPACT ON E-MOBILITY

Milan Stanković

Sadržaj – Savremeni svet se suočava sa izazovima klimatskih promena, zagađenja vazduha i sve veće zavisnosti od fosilnih goriva, što nameće potrebu za bržom tranzicijom ka održivim oblicima transporta. Jedan od ključnih elemenata ove tranzicije jeste električna mobilnost (e-mobilnost), koja podrazumeva upotrebu vozila na električni pogon umesto na klasična interna sagorevanja. Međutim, uspešna implementacija električnih vozila (EV) ne zavisi samo od same tehnologije proizvodnje automobila, već i od dostupne infrastrukture za punjenje, koja predstavlja kritičnu komponentu u prihvatanju ovakvih vozila od strane potrošača. Cilj ovog rada je da istraži povezanost između razvoja infrastrukture za punjenje i popularizacije električnih vozila, kroz analizu tehnoloških, ekonomskih i psiholoških aspekata. Poseban fokus će biti na uporednom istraživanju broja i raspodele punjača u Srbiji, Evropi i svetu, kako bi se uočili nedostaci i potencijalni pravci unapređenja. Kroz ovu analizu, rad će ponuditi preporuke za unapređenje mreže punjača u Srbiji, što bi doprinelo bržem prihvatanju e-mobilnosti i smanjenju negativnih ekoloških posledica transporta.

Ključne reči: Četiri do šest ključnih reči ili izraza odvojenih zarezom.

Abstract – The modern world is facing the challenges of climate change, air pollution and increasing dependence on fossil fuels, which imposes the need for a faster transition to sustainable forms of transport. One of the key elements of this transition is electric mobility (e-mobility), which implies the use of electric vehicles instead of classic internal combustion. However, the successful implementation of electric vehicles (EVs) depends not only on the car manufacturing technology itself, but also on the available charging infrastructure, which is a critical component in consumer acceptance of such vehicles. The aim of this paper is to investigate the connection between the development of charging infrastructure and the popularization of electric vehicles, through the analysis of technological, economic and psychological aspects. A special focus will be on a comparative study of the number and distribution of chargers in Serbia, Europe and the world, in order to identify shortcomings and potential directions for improvement. Through this analysis, the paper will offer recommendations for improving the charger network in Serbia, which would contribute to faster acceptance of e-mobility and reduction of the negative environmental consequences of transport.

Keywords: Include four to six keywords or phrases separated by comma.

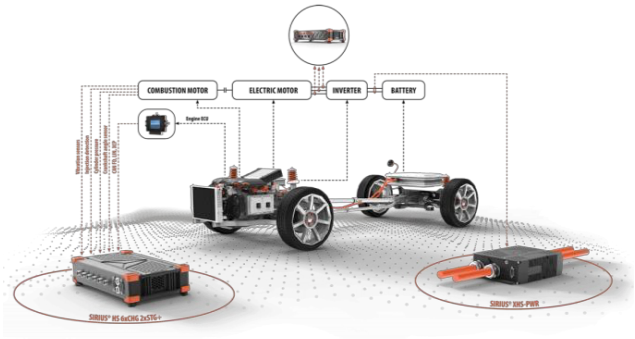
1. UVOD

Električna mobilnost (e-mobilnost) predstavlja revolucionaran koncept u oblasti transporta koji podrazumeva korišćenje vozila sa električnim pogonom, napajanih iz baterijskih skladišta energije ili vodoničnih gorivih ćelija, kao alternativu klasičnim motorima sa unutrašnjim sagorevanjem. Ova tehnologija ima za cilj da radikalno smanji zavisnost od fosilnih goriva i značajno umanji emisije štetnih gasova (CO_2, NO_x, čestice) koji doprinose globalnom zagrevanju i zagađenju vazduha u urbanim sredinama [1].

U Srbiji, kao i u većini zemalja u razvoju, infrastruktura za punjenje je još uvek u fazi inicijalnog razvoja, sa ograničenim brojem punjača koji su neravnomerno raspoređeni – koncentrisani u većim gradovima, dok su ruralna područja gotovo potpuno isključena iz mreže. Nasuprot tome, zemlje poput Norveške, Nemačke i Kine imaju već razvijene sisteme podrške, što im omogućava značajan udeo EV u ukupnom saobraćaju.

Ključne karakteristike električnih vozila (EV) u odnosu na konvencionalna vozila obuhvataju:

- Ekološku održivost: Nulta emisija štetnih gasova tokom vožnje (u slučaju korišćenja obnovljive energije za punjenje),
- Energetsku efikasnost: Elektromotori iskorišćavaju 80-90 % energije, dok motori sa unutrašnjim sagorevanjem ne prelaze 30 %
- Redukciju buke: Za 50-70 % tiši rad u odnosu na dizel/benzin motore
- Niže operativne troškove: Troškovi održavanja su do 40 % niži zbog manjeg broja pokretnih delova



Slika 1. *E-mobilnost vozila sa električnim pogonom*

E-mobilnost se ne odnosi isključivo na putničke automobile, već obuhvata i druge vidove transporta, uključujući autobuse, kamione, bicikle, čak i brodove. Budući razvoj ove oblasti očekuje se u sferi autonomne vožnje i pametnih mreža (smart grids), koje će omogućiti dinamičko upravljanje energijom. Električna mobilnost nije samo

Milan Stanković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, Niš, (milan.stankovic@akademijanis.edu.rs).

tehnička inovacija, već i društveno-ekonomski pokretač ka održivijem načinu života.

U prvom delu rada objašnjene su prednosti i izazovi električnih vozila. Zatim je predstavljena uloga infrastrukture u razvoju E-mobilnosti. Četvrto poglavlje odnosi se na integraciju sa obnovljivim izvorima energije. U poslednjem delu data je analiza stanja infrastrukture za punjenje, kao i razvoj istih u Republici Srbiji.

2. PREDNOSTI I IZAZOVI ELEKTRIČNIH VOZILA

Električna vozila predstavljaju revolucionaran iskorak u savremenom transportnom sistemu, donoseći sa sobom niz značajnih prednosti koje transformišu način na koji razmišljamo o mobilnosti. Najznačajnija prednost nesumnjivo leži u njihovoj ekološkoj održivosti. Za razliku od konvencionalnih vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem koje emituju štetne gasove poput ugljen-dioksida, azotnih oksida i čestica čvrstih materija, električni automobili tokom vožnje ne proizvode direktne emisije. Ova karakteristika ima neposredan i izuzetno pozitivan uticaj na kvalitet vazduha u urbanim sredinama, što postaje sve kritičnije u svetu koji se suočava sa eskalirajućim problemima zagađenja vazduha i klimatskih promena [2]. Studije sprovedene u evropskim metropolama pokazuju da masovnija primena električnih vozila može dovesti do smanjenja koncentracije štetnih gasova u urbanim sredinama za čak 30-40 %, što značajno doprinosi javnom zdravlju.

Pored ekoloških benefita, električna vozila donose i značajno poboljšanje u kvalitetu urbanog života kroz redukciju buke. Za razliku od konvencionalnih motora koji proizvode kontinuirani nivo buke od 70-80 db, električni pogonski sistemi rade na nivoima ispod 55 db, što je ekvivalent tihoj konverzaciji. Ova karakteristika posebno dolazi do izražaja u gradskim sredinama, gde noćni nivoi buke mogu biti smanjeni za do 50 %, stvarajući tako prijatnije životno okruženje za stanovnike.

Sa ekonomske perspektive, električna vozila predstavljaju interesantan paradoks. Iako su inicijalni troškovi nabavke i dalje veći u odnosu na klasične automobile, u proseku za 20-30%,dugoročna analiza troškova vlasništva pokazuje značajne uštede. Ključni faktor leži u znatno nižim troškovima održavanja, koji su rezultat jednostavnije konstrukcije sa manjim brojem pokretnih delova.

Dok godišnji troškovi održavanja benzinskog automobila mogu iznositi 2-3 % njegove vrednosti, kod električnih vozila ovaj procenat se kreće oko 1-1,5 %. Dodatnu prednost predstavlja stabilnost cena električne energije koja nema fluktuacije karakteristične za tržište fosilnih goriva. U Srbiji, kao i u mnogim drugim zemljama, ove prednosti su prepoznate kroz različite oblike podsticaja, uključujući poreske olakšice, subvencije za kupovinu, besplatne parkinge i vožnju trakama namenjenim javnom prevozu.

Ekološki aspekti električnih vozila takođe nisu bez izazova. Iako sama vozila ne proizvode direktne emisije, ukupan utisak zavisi od načina na koji se proizvodi električna energija potrebna za njihovo punjenje. U zemljama gde je energija i dalje dominantno zasnovana na fosilnim gorivima, ekološke prednosti električnih vozila su umanjene. Prava ekološka dobit ostvaruje se samo u kombinaciji sa širim prelaskom na obnovljive izvore energije.

Uprkos brojnim prednostima, električna vozila se i dalje suočavaju sa izazovima koji usporavaju njihovu masovnu primenu. Jedan od glavnih problema je ograničen domet vozila na jedno punjenje, što dovodi do pojave tzv. "anksioznosti dometa" (range anxiety) kod potencijalnih korisnika. Iako se tehnologija baterija konstantno unapređuje, potreba za češćim punjenjem u odnosu na tradicionalno punjenje rezervoara goriva ostaje značajna psihološka barijera.

Drugi veliki izazov predstavlja nedovoljno razvijena infrastruktura za punjenje, posebno u manje urbanizovanim područjima. Dok veliki gradovi postepeno grade mrežu punjača, ruralne regije često nemaju adekvatnu pokrivenost, što ograničava mobilnost korisnika električnih vozila izvan gradskih centara. Osim toga, vreme potrebno za punjenje baterija je i dalje znatno duže u odnosu na vreme potrebno za sipanje goriva, iako tehnologije brzog i ultra-brzog punjenja polako rešavaju ovaj problem.



Slika 2. *Beskontaktno punjenje električnih automobila*

Tehnički izazovi takođe uključuju pitanje životnog veka i recikliranja baterija, kao i potrebu za dodatnim opterećenjem elektroenergetskog sistema. S druge strane, razvoj pametnih mreža (smart grids) i integracija obnovljivih izvora energije u proces punjenja predstavljaju obećavajuća rešenja za ove izazove.

U globalnim razmerama, električna vozila predstavljaju ključnu komponentu tranzicije ka održivom transportu, ali njihova buduća popularizacija zavisiće od rešavanja postojećih tehničkih, infrastrukturnih i psiholoških barijera. Kako tehnologija napreduje i kako se poboljšava svest o ekološkim prednostima, očekuje se da će električna vozila postepeno postati dominantan izbor u svetu mobilnosti.

3. ULOGA INFRASTRUKTURE U RAZVOJU E-MOBILNOSTI

Infrastruktura za punjenje električnih vozila predstavlja ne samo tehničku osnovu već i ključni pokretač šire primene e-mobilnosti u savremenom društvu. Njen značaj daleko prevazilazi osnovnu funkciju snabdevanja energijom, transformišući se u strateški element urbanog planiranja i nacionalne energetske politike. Kao što ističe IEA [2] u svom Globalnom pregledu električnih vozila, dostupnost pouzdane i dobro raspoređene mreže punjača predstavlja odlučujući

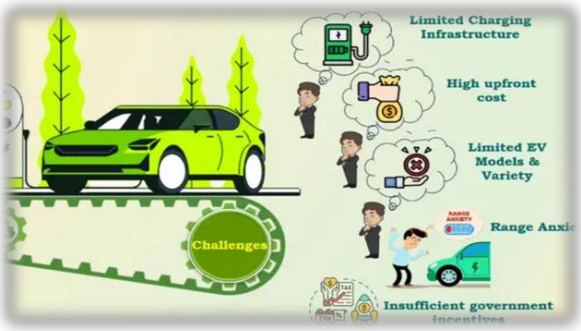
faktor u procesu donošenja odluke potencijalnih kupaca, rame uz rame sa cenom vozila i njegovim dometom.

Suštinski uticaj infrastrukture na razvoj e-mobilnosti manifestuje se kroz više međusobno povezanih dimenzija. Urbani centri sa razvijenom mrežom punjačkih stanica postaju prirodno stanište električnih vozila, gde korisnici mogu planirati svoje dnevne rutine. U takvim uslovima, električni automobili prestaju da budu tehnološki eksperiment, a postaju prirodan deo gradskog pejzaža i svakodnevnice. S druge strane, povezivanje urbanih centara putem mreže brzih punjača duž glavnih saobraćajnica omogućava bezbrižna putovanja na duge staze.

Problem tzv. "belih tačaka" e-mobilnosti - izolovanih zona bez pristupa punjačima - predstavlja ne samo praktičnu prepreku već i simboličku barijeru potencijalnih korisnika. Ove zone ne samo da onemogućavaju kretanje električnih vozila, već i podrivaju poverenje u celokupni sistem, stvarajući percepciju tehnologije kao nestabilne i nepouzdane.

Dinamički razvoj tehnologije punjenja dodatno komplikuje ovu sliku. Pojava ultra-brzih punjača sa kapacitetom preko 350 kW transformiše tradicionalne modele putovanja, skraćujući vreme zadržavanja na stanicama na samo 15-20 minuta. Međutim, implementacija ove tehnologije zahteva duboko razumevanje lokalnih uslova i potreba, jer neopravdana koncentracija ultra-brzih punjača može dovesti do neravnomernog opterećenja električne mreže.

Integracija infrastrukture za punjenje sa pametnim električnim mrežama i obnovljivim izvorima energije otvara nove horizonte u konceptu održivog transporta. Pametno upravljanje potrošnjom energije tokom perioda niske potražnje ili obilja obnovljive energije ne samo da optimizira troškove već i postaje ključni element stabilizacije celokupnog energetskog sistema. Ova sinergija transportnog i energetskog sektora predstavlja najveću revoluciju u konceptu mobilnosti od vremena pojave automobila.



Slika 3. *Uloga infrastrukture u razvoju e-mobilnosti*

Druga ključna dimenzija se odnosi na vrstu i kapacitete punjača. Postojanje mreže brzih i ultra-brzih punjačkih uređaja značajno skraćuje vreme neaktivnosti vozila i uklanja jednu od glavnih prepreka masovnijoj primeni. U tom smislu, balans između sporih (AC) i brzih (DC) punjača postaje strateško pitanje u planiranju infrastrukture.

Treći aspekt se tiče integracije infrastrukture u širi energetski sistem. Pametno upravljanje punjenjem, posebno u kombinaciji sa obnovljivim izvorima energije, može pretvoriti flotu električnih vozila u važan element stabilizacije elektroenergetskog sistema. Ovo zahteva napredne sisteme upravljanja i komunikacije između vozila, punjačkih uređaja i elektroenergetskog sistema.

Važno je naglasiti da uloga infrastrukture nije isključivo tehničke prirode. Njen razvoj ima i snažan psihološki uticaj na potencijalne kupce, smanjujući "anksioznost dometa" i izgrađujući poverenje u pouzdanost električne mobilnosti. S toga, planiranje infrastrukture mora uzeti u obzir ne samo stvarne tehničke potrebe već i percepciju korisnika.

4. INTEGRACIJA SA OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

Integracija infrastrukture za punjenje električnih vozila sa obnovljivim izvorima energije predstavlja ključnu sinergiju koja može ostvariti pravu revoluciju u održivom transportu. Ova povezanost ne samo da omogućava da se vozila pune čistom energijom već stvara i potpuno novi paradigma u upravljanju energijom. Kako ističe European Environment Agency, prava ekološka prednost električnih vozila ostvaruje se tek kada se celokupni energetski lanac - od proizvodnje do potrošnje energije - zasniva na obnovljivim izvorima, što zahteva duboko integrirane sisteme upravljanja.

Suštinski, ova integracija se manifestuje kroz stvaranje inteligentnih energetskih sistema koji u realnom vremenu usklađuju potrošnju energije za punjenje vozila sa trenutnom dostupnošću obnovljive energije. Solarne elektrane postale su sastavni deo mnogih modernih stanica za punjenje, posebno u sunčanim regionima, gde direktno napajaju punjače tokom dnevnih sati. Paralelno, vetrogeneratori se sve češće integrišu u sistem u vetrovitim područjima, stvarajući komplementarnost u proizvodnji. Ovi hibridni sistemi obično kombinuju generisanje obnovljive energije sa naprednim sistemima za skladištenje, omogućavajući kontinuitet snabdevanja čak i kada primarni izvori trenutno ne proizvode energiju.

Jedan od najperspektivnijih pravaca razvoja u ovoj oblasti je koncept "zelenih koridora" - mreže stanica za punjenje koje u potpunosti rade na obnovljivoj energiji i koje povezuju ključne saobraćajne pravce. U Nemačkoj, na primer, već postoje pilot projekti gde se celokupna energija za punjenje vozila duž određenih autoputeva obezbeđuje iz obližnjih vetroelektrana i solarnih parkova.

Integracija sa obnovljivim izvorima energije rešava i ključni izazov neprekidnosti u proizvodnji zelene energije. Kada se kombinuje sa tehnologijom V2G (Vehicle-to-Grid), flota električnih vozila može služiti kao distribuirani sistem za skladištenje energije, apsorbujući višak proizvodnje iz obnovljivih izvora i vraćajući ga u mrežu kada je potražnja velika. Ovaj pristup ne samo da poboljšava ekonomičnost celog sistema već i doprinosi stabilnosti elektroenergetske mreže.

Jedan od najperspektivnijih pravaca razvoja predstavlja koncept "zelenih stanica za punjenje" koje u potpunosti funkcionišu na obnovljivoj energiji, prvenstveno solarnoj i energiji vetra. Ovi pametni energetski čvorovi ne samo da eliminišu emisije ugljen-dioksida već služe i kao edukativni

centri, vizuelno prikazujući korisnicima u realnom vremenu podatke o količini iskorišćene zelene energije, uštedama u emisijama i doprinosu održivom razvoju.

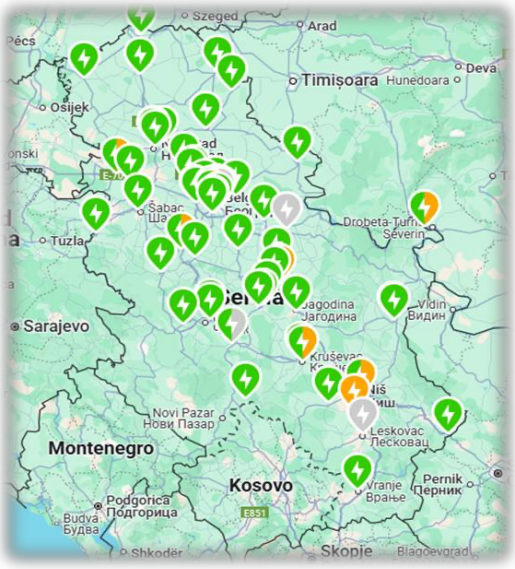


Slika 4. *Integracija infrastrukture za punjenje električnih vozila sa obnovljivim izvorima energije*

Moderni dizajn ovih stanica često uključuje integrisane solarne panele, vetrogeneratore i baterijske sisteme za skladištenje energije, čime se postiže energetska autonomija.

5. ANALIZA STANJA INFRASTRUKTURE ZA PUNJENJE

Infrastruktura za punjenje električnih vozila u Srbiji prolazi kroz fazu intenzivnog razvoja, ali još uvek zaostaje za evropskim prosekom po broju punjača po stanovniku. Prema podacima Ministarstva zaštite životne sredine Republike Srbije [3], u zemlji je instalirano stotinu javnih punjača, sa tendencijom stalnog porasta. Ovaj kapacitet, iako nedovoljan za potpuno zadovoljavanje potreba ubrzano rastućeg broja električnih vozila, predstavlja solidnu osnovu za dalju ekspanziju mreže.



Slika 5. *Infrastruktura za punjenje EV u Srbiji*

Karakteristično za srpsko tržište je prisustvo različitih modela vlasništva nad stanicama za punjenje. Pored punjača u vlasništvu elektrodistributivnih preduzeća, sve veći udeo imaju i stanice koje su razvile privatne kompanije, često u partnerstvu sa proizvođačima automobila. Ovaj pluralizam doprinosi povećanju ukupnih kapaciteta, ali istovremeno nameće potrebu za većom koordinacijom i standardizacijom.

Tehnički kapaciteti postojeće infrastrukture u Srbiji uglavnom zadovoljavaju potrebe sadašnjeg broja električnih vozila, ali predstojeći porast registracija električnih vozila zahtevaće značajno proširenje mreže. Poseban izazov predstavlja nedostatak punjača duž glavnih saobraćajnih koridora, što ograničava mogućnosti putovanja električnim vozilima između gradova. Iako postoji svest o ovim izazovima, brzina proširenja kapaciteta i dalje zaostaje za potrebama tržišta.

Geografska raspodela infrastrukture za punjenje električnih vozila u Srbiji pokazuje izrazitu nejednakost između urbanih i ruralnih područja, što predstavlja značajan izazov za ravnomerni razvoj elektromobilnosti u celoj zemlji. Preko 80% javno dostupnih punjača koncentrisano je u Beogradu, Novom Sadu i još nekoliko većih gradova, dok su ruralne oblasti praktično isključene iz ovog sistema. Ova disproporcija stvara takozvane "bele tačke" na mapi elektromobilnosti, ograničavajući mobilnost korisnika električnih vozila izvan urbanih centara.

6. ZAKLJUČAK

Budući pravci razvoja uključuju integraciju pametnih mreža (smart grids) i obnovljivih izvora energije u sistem punjenja, što bi dodatno povećalo održivost električne mobilnosti. Konačno, usvajanje e-mobilnosti ne zavisi samo od same tehnologije vozila, već i od pristupačne, pouzdane i široko rasprostranjene infrastrukture, što ovaj rad jasno potvrđuje.

Da bi se unapredila e-mobilnost u Srbiji, neophodno je:

- Proširiti mrežu punjača – sa fokusom na ravnomernu raspodelu između gradova i ruralnih područja, kao i na ključne saobraćajne koridore,
- Uvesti podsticaje – subvencije za instalaciju kućnih i javnih punjača, kao i poreske olakšice za korisnike EV,
- Povećati brzu i ultra-brzu infrastrukturu – kako bi se smanjilo vreme čekanja i omogućila duža putovanja,
- Unaprediti saradnju između države i privatnog sektora kroz javno-privatna partnerstva i podršku inostranim investitorima.

LITERATURA

[1] D. Đuričin, I. Vuksanović, Perspektive elektromobilnosti u Srbiji: Ekonomski i ekološki aspekti. Ekonomski fakultet, Beograd, 2021.

[2] IEA (International Energy Agency), Global EV Outlook 2022: Securing supplies for an electric future, OECD Publishing, 2022.

[3] Ministarstvo zaštite životne sredine Republike Srbije, Strategija razvoja elektromobilnosti u Republici Srbiji 2022-2030, Beograd, 2022.

ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI PRIMENE TEORIJE IZVOĐENJA RADNJI VOZILOM U SAOBRAĆAJU U POSTUPKU VEŠTAČENJA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA

RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF APPLYING THE THEORY OF CAR OPERATIONS IN TRAFFIC IN THE PROCEDURE OF TRAFFIC ACCIDENT EXPERTISE

Dejan Bogićević i Stefan Mihajlović

Sadržaj: U radu je najpre prikazan algoritam izvođenja radnji i postupanja vozača u saobraćaju na putu, koji predstavlja proceduru po kojoj se izvršava određena radnja u saobraćaju, odnosno kao postupak preduzimanja konkretnih postupaka, odnosno koraka koji će dovesti do propisnog, pravilnog i bezbednog izvršenja određene radnje. Nadalje u okvirima ovog rada detaljno je definisana i prikazana metodologija primene teorije izvođenja radnji vozilom u saobraćaju u postupku veštačenja saobraćajnih nezgoda, a što po mišljenju autora predstavlja stručni, odnosno naučni doprinos rada. Na kraju rada izveden je zaključak na koji način primena teorije izvođenja radnji vozilom u saobraćaju, u postupku veštačenja saobraćajnih nezgoda, utiče na donošenje pravilne sudske presude.

Ključne reči: algoritam, radnje vozilom u saobraćaju, veštačenja saobraćajnih nezgoda, sudske odlike.

Abstract The paper first presents the algorithm of actions and actions of drivers in traffic on the road, which represents the procedure by which a specific action is performed in traffic, i.e. as a procedure for undertaking specific procedures, i.e. steps that will lead to the proper, correct and safe execution of a specific action. Furthermore, within the framework of this paper, the methodology of applying the theory of the performance of actions by a vehicle in traffic in the procedure of expert examination of traffic accidents is defined and presented in detail, which, in the author's opinion, represents a professional, i.e. scientific contribution of the work. At the end of the paper, a conclusion was drawn as to how the application of the theory of the performance of actions by a vehicle in traffic, in the procedure of expert examination of traffic accidents, affects the rendering of a correct court verdict.

Keywords: algorithm, actions by vehicle in traffic, expert reports on traffic accidents, judicial features.

1. UVOD

Teorija izvođenja radnji vozilom u saobraćaju (TIR) u poslednjih deset godina zauzima značajno mesto u postupku osposobljavanja kandidata za vozače. Za bezbedno upravljanje vozilom u saobraćaju na putu neophodno je da vozač poseduje određena znanja i potrebnu veštinu kako bi na propisan, pravilan i bezbedan način izvršio određenu radnju vozilom u saobraćaju na putu. Osnovna teorijska znanja na koji način se izvode radnje vozilom u saobraćaju, kandidati stiču na teorijskoj obuci. U toku praktične obuke, kandidati stiču praktična znanja na koji način se izvodi konkretna radnja vozilom, odnosno na koji način vozač postupa u saobraćaju na putu. Na praktičnoj obuci, odnosno na praktičnom delu vozačkog ispita, potrebno je da kandidat svaku radnju izvrši kroz određene korake u algoritmu vršenja radnji kako bi njegovo kretanje u odnosu na druge učesnike u saobraćaju bilo bezbedno. Algoritam izvođenja radnji i postupanja vozača u saobraćaju na putu je procedura po kojoj se izvršava određena radnja u saobraćaju i može se predstaviti kao preduzimanje konkretnih postupaka, odnosno koraka koji će dovesti do propisnog, pravilnog i bezbednog izvršenja radnje [1]. Algoritam može sadržati korake koji se ponavljaju više puta ili korake kada treba doneti neku odluku na osnovu nekog kriterijuma.

Dejan Bogićević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: dejan.bogicevic@akademijanis.edu.rs).

Stefan Mihajlović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: stefan.mihajlovic@akademijanis.edu.rs).

Algoritam predstavlja opis za rešavanje nekog problema ili precizno definisanu proceduru kojom se opisuje izvršavanje nekog zadatka ili problema. Pri izvođenju radnji vozilom, odnosno postupanja vozača u saobraćaju na putu, vozač se uvek nalazi u predstavljenom algoritmu vršenja radnji ili u nekom od koraka algoritma jer većina radnji ima svoje specifičnosti i to: 1. Korak - priprema vozača i vozila, 2. Korak - uverava-nje, 3. Korak - obaveštavanje, 4. Korak - ponovno uveravanje i 5. izvršenje radnje [1].

U okvirima ovog rada detaljno je definisana i prikazana metodologije primene teorije izvođenja radnji vozilom u saobraćaju u postupku veštačenja saobraćajnih nezgoda, a što po mišljenju autora predstavlja stručni, odnosno naučni doprinos rada.

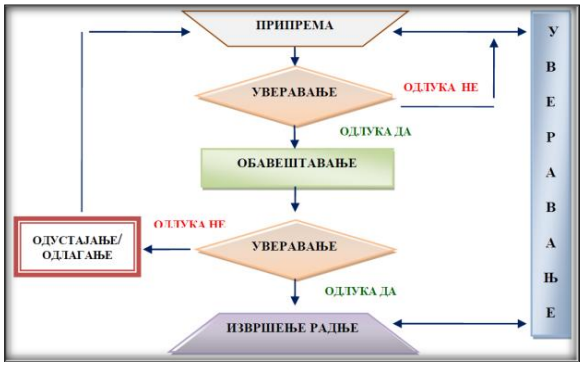
Na kraju ovog rada, pored isticanja značaja propisanog izvođenja navedenih radnji u saobraćaju, posebno će biti istaknut i naglašen značaj pravilnog i bezbednog izvođenja navedenih radnji vozilom u saobraćaju.

2. ALGORITAM IZVOĐENJA RADNJI U SAOBRAĆAJU NA PUTU

Algoritam izvođenja radnji i postupanja vozača u saobraćaju na putu je procedura po kojoj se izvršava određena radnja u saobraćaju i može se predstaviti kao preduzimanje konkretnih postupaka, odnosno koraka koji će nas dovesti do propisnog, pravilnog i bezbednog izvršenja radnje. Algoritam može sadržati korake koji se ponavljaju više puta ili korake kada treba doneti neku odluku na osnovu nekog kriterijuma.

Algoritam predstavlja opis za rešavanje nekog problema ili precizno definisanu proceduru kojom se opisuje izvršavanje nekog zadatka ili problema.

Pri izvođenju radnji vozilom, odnosno postupanja vozača u saobraćaju na putu, vozač se uvek nalazi u predstavljenom algoritmu vršenja radnji ili u nekom od koraka algoritma jer većina radnji, odnosno postupanja ima svoje specifičnosti (slika 1).



Slika 1. *Algoritam izvođenja radnji u saobraćaju*

1. Korak – priprema – obuhvata radnje koje se odnose na pripremu vozača koji mora da ima jasnu nameru koju radnju želi da izvrši i pripremu vozila za konkretnu radnju. Vozač prilagođava brzinu kretanja vozila (vrši izbor odgovarajućeg stepena prenosa i usporavanje) i zauzima odgovarajući položaj vozilom u saobraćajnoj traci (bliže desnoj ivici kolovoza ukoliko vozilo nije pravilno pozicionirano). Vozač svoju pažnju usmerava na konkretnu saobraćajnu situaciju, prikuplja i obrađuje informacije o saobraćajnoj situaciji, prati i analizira postupanja drugih učesnika.

2. Korak – Uveravanje – Osmatranjem saobraćaja ispred/iza vozila, s leve i desne strane, vozač se pomoću unutrašnjeg i bočnih ogledala i pogledom preko levog ramena uverava o kretanju drugih učesnika u saobraćaju i da li postoje uslovi za bezbedan početak izvođenja radnje. Na osnovu svih prikupljenih podataka, vozač ima obavezu i da izvrši procenu celokupne saobraćajne situacije i da na osnovu toga donese odluku o daljem izvršenju radnje - nastavlja izvršenje ili odustaje/odlaže. U slučaju da je vozač procenio da radnju u saobraćaju ne može bezbedno da nastavi, on se „vraća“ unazad, odnosno tok algoritma se prekida (slika 1). Ukoliko se vozač uverio da radnju može da bezbedno da izvrši onda se prelazi na sledeći korak – obaveštavanje.

3. Korak – Obaveštavanje – Vozač uključivanjem ili neuključivanjem pokazivača pravca i zauzimanjem odgovarajućeg položaja vozilom u saobraćajnoj traci, ostale učesnike u saobraćaju obaveštava o svojoj nameri. Vozila koja se kreću iza njega blagovremeno obaveštava „stop“ svetlima (ukoliko proceni da je to potrebno).

4. Korak – Uveravanje – Osmatranjem saobraćaja ispred i iza vozila, s leve i desne strane, vozač se uverava da li su ostali učesnici u saobraćaju razumeli njegovu nameru i da li postoje uslovi za bezbedno izvođenje radnje. Ovo je poslednji trenutak u kome vozač može doneti odluku da odustane, odnosno da odloži izvršenje radnje ukoliko nisu ispunjeni uslovi za bezbedno izvođenje. U slučaju da je došlo do promene, odnosno da se vozač uverio da radnju ne može bezbedno da izvrši, odustaje od radnje i vraća se na prvi korak - priprema vozača i vozila (slika 1).

5. Izvršenje radnje – Nakon uveravanja da postoje uslovi za bezbedno izvođenje radnje, vozač pristupa izvršenju polukružnog okretanja. Vozač, svojim kretanjem ili položajem vozila ne sme da ugrožava ostale učesnike u saobraćaju.

Vozač se tokom izvođenja radnji i postupanja u saobraćaju na putu uvek nalazi u predstavljenom algoritmu vršenja radnji i postupanja, odnosno u nekim koracima algoritma u zavisnosti od saobraćajne situacije u kojoj se nalazi. Algoritam vršenja radnji i postupanja vozača se može menjati i dopunjavati u zavisnosti od:

- Radnje koja se izvodi;
- Saobraćajne situacije;
- Kategorije vozila.

Uveravanje je u algoritmu izdvojeno u dva posebna koraka zbog donošenja odluke o stupanju u naredni korak. Proces uveravanja traje sve vreme izvođenja radnje jer se vozač sve vreme tokom upravljanja vozilom nalazi u procesu prikupljanja i obrade informacija. Vozač treba neprekidno da prati i analizira postupanja drugih učesnika u saobraćaju, da predviđa eventualne opasnosti i da bude spreman da u svakom trenutku promeni način postupanja i preduzme odgovarajuću radnju kako bi pokušao da izbegne potencijalnu opasnost.

3. PRAKTIČNA PRIMENA TIR-a U POSTUPKU VEŠTAČENJA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA

Prilikom veštačenja saobraćajnih nezgoda, odnosno izrede Nalaza i mišljenja veštaka, pored ostalog utvrđuje se trenutak nastanka opasne situacije, odnosno karakteristična pozicija učesnika nezgode u trenutku nastanka opasne situacije. Prema definiciji, opasna situacija je saobraćajna situacija koja zahteva reagovanje bar jednog učesnika, u cilju izbegavanja nezgode [6]. Opasna situacija nastaje u trenutku kada jedan učesnik saobraćajne nezgode uoči da će nepromenjeno ponašanje dovesti do nastanka saobraćajne nezgode. Prilikom veštačenja saobraćajnih nezgoda često postoje propusti veštaka vezani za utvrđivanje trenutka nastanka opasne situacije oni se ogledaju u tome da veštaci trenutak nastanka opasne situacije vezuju za početak izvršenja određene radnje, odnosno za početak 5. koraka, umesto za početak izvođenja radnje. Drugačije opisano, prilikom utvrđivanja trenutka nastanka opasne situacije, poistovećuju se pojmovi „izvođenje radnje“ i „izvršenje radnje“. Prema Zakonu o bezbednosti saobraćaja (ZOBS) vozač ne sme da započne bilo koju radnju vozilom u saobraćaju na putu pre nego što se uveri da radnju može da izvrši na bezbedan i propisan način. Imajući u vidu navedenu odredbu ZOBS-a, postavlja se praktično pitanje, kada tačno vozač započinje određenu radnju, odnosno u kom koraku algoritma vozač započinje određenu radnju vozilom u saobraćaju. Prema ZOBS-u, svaki učesnik u saobraćaju dužan da preduzme sve potrebne mere radi izbegavanja ili otklanjanja opasnih situacija nastalih ponašanjem drugih učesnika u saobraćaju, ako sebe ili drugog time ne dovodi u

opasnost. Iz navedenih razloga, utvrđivanje trenutka nastanka opasne situacije je izuzetno značajno prilikom veštačenja saobraćajnih nezgoda, iz razloga što od toga zavisi utvrđivanje činjenice da li je drugi učesnik u saobraćajnoj nezgodi na nastalu opasnost reagovao blagovremeno, odnosno da li je imao tehničkih mogućnosti za izbegavanje saobraćajne nezgode. Iz prethodno navedenih razloga, u okviru ovog rada biće definisan postupak pravilnog utvrđivanja trenutka nastanka opasne situacije na primeru saobraćajne nezgode u kojima dolazi do sudara između vozila koje vrši radnu skretanja ulevo sa vozilom koje vrši radnju preticanja vozila koje skreće ulevo.

3.1 Osnovni podaci o nezgodi

Dana 01.01.2025. godine, u 13:00 h, u mestu Prilike, opština Ivanjica, na trokrakoj raskrsnici državnog puta prvog „B“ reda broj 21, na deonici Arilje - Prilike i opštinskog puta Prilike - Šarenik, na deonici Prilike - Šarenik, u mestu zvanom „Milovići”, dogodila se saobraćajna nezgoda u kojoj je pričinjena materijalna šteta.

3.2 Učesnici u nezgodi

U ovoj saobraćajnoj nezgodi učestvovali su:

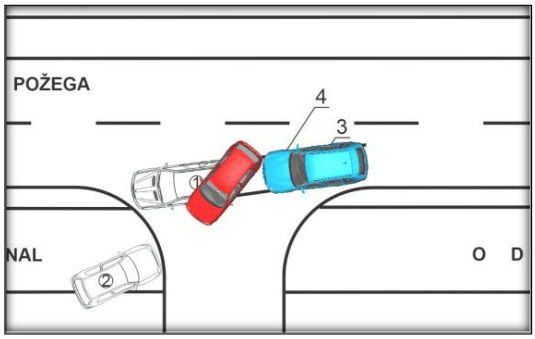
1. Putnički automobil marke „BMW“ tipa „X5 XDRIVE 30 D“ registarske oznake UE 191-PP (u daljem tekstu „BMW”).
2. Putnički automobil marke „VOLKSWAGEN VW“ tipa „GOLF“ registarske oznake IC 048-ZD (u daljem tekstu „GOLF“).

3.3 Podaci o putu i vremenu

Kolovoz državnog puta, kojim su se kretali učesnici nezgode, na licu mesta saobraćajne nezgode je ravan, prav i izgrađen od savremenog glatkog asfaltnog kolovoznog zastora dobrog kvaliteta. Širina kolovoza na licu mesta nezgode iznosi 6,0 m, a kolovoz je na prilazu raskrsnici razdelnom isprekidanom linijom podeljen na dve kolovozne trake i namenjen je za dvosmerni saobraćaj. Sa desne strane kolovoza posmatrano u smeru kretanja učesnika nezgode, odnosno u smeru Požege (a što će u narednom delu Nalaza predstavljati smer posmatranja) nalazi se zemljana bankina, odnosno zemljani/travnati deo širine 1,9 m. Sa leve strane kolovoza nalazi se zemljana, odnosno travnata bankina širine 1,0 m, na koju se nastavlja kanal za odvodnjavanje kolovoza. Na licu mesta saobraćajne nezgode kolovoz državnog puta ukršta se sa opštinskim putem pod pravim uglom, sa leve strane, gradeći trokraku raskrsnicu. Prema Zapisniku o uviđaju, u vreme i na mestu nezgode brzina kretanja vozila je bila ograničena opštim ograničenjem brzine za puteve van naselja na 80 km/h.

3.4 Mesto sudara i pozicija vozila u trenutku sudara

U trenutku sudara „BMW” se većim delom nalazio na levoj kolovoznoj traci državnog puta, dok se manjim delom (prednjim levim ćoškom) nalazio na kolovozu opštinskog puta. U trenutku sudara „GOLF” se zadnjim delom nalazio na levoj kolovoznoj traci državnog puta, dok se prednjim delom nalazio na kolovozu opštinskog puta. U trenutku sudara uzdužne ose vozila zaklapale su ugao od približno 44o, pri čemu je „GOLF” bio ukošen u levu stranu za ugao od 51o u odnosu na uzdužnu osu kolovoza, a „BMW” je takođe bio ukošen u levu stranu za ugao od 7o u odnosu na uzdužnu osu kolovoza. Sudar je ostvaren između prednjeg desnog ćoška „BMW-a” (u predelu desnog kraja prednjeg branika, desnog fara i prednjeg desnog blatobrana) i zadnjeg levog ćoška „GOLF-a” (u predelu levog kraja zadnjeg branika, zadnje leve svetlosne grupe i zadnjeg levog blatobrana).



Slika 2. *Sudarna pozicija „BMW-a” i „GOLF-a”[4].*

3.5 Brzine kretanja učesnika nezgode

Brzina „BMW-a” u trenutku sudara je bila 44 km/h, na početku tragova kočenja 52 km/h, a brzina „BMW-a” trenutku reagovanja vozača „BMW-a” kočenjem na uočenu opasnost je bila 55 km/h. Brzina „GOLF-a” u trenutku sudara sa „BMW-om“ je bila 18 km/h. U predmetnim spisima ne postoje materijalni tragovi na osnovu kojih je moguće utvrditi da li je i u kojoj meri „GOLF” bio usporavan ili ubrzavan pre sudara, tako da sam za dalje proračune koristio vrednost brzine „GOLF-a” u trenutku sudara.

3.6 Vremensko-prostorna analiza toka nezgode

Vozač „BMW-a” je na uočenu opasnost reagovao kočenjem kada se od mesta sudara nalazio na udaljenosti od najmanje 21 m, a vreme koje je proteklo od trenutka reagovanja vozača „BMW-a” kočenjem na uočenu opasnost do trenutka sudara sa „GOLF-om“ iznosilo je 1,4 s. Vozač „GOLF-a” je prednjim levim ćoškom „GOLF-a” prešao preko razdelne linije, odnosno otpočeo radnju skretanja ulevo, kada se od mesta sudara nalazio na udaljenosti od 7 m, a za vreme od 1,4 s.

Međusobnim poređenjem vremena skretanja „GOLF-a” do trenutka sudara sa „BMW-om“ (1,4 s) i vremena reagovanja vozača „BMW-a” i kočenja do trenutka sudara (1,4 s), našao sam da je vozač „BMW-a” je reagovao kočenjem u istom trenutku kada je vozač „GOLF-a” otpočeo skretanje ulevo na levu kolovoznu traku. Vozač „BMW-a” je mogao da otpočne bočno izmicanje „BMW-a” na levu kolovoznu traku u cilju preticanja „GOLF-a”, kada se od pozicije početka tragova kočenja nalazio na udaljenosti od najmanje 31 m, a za vreme od 2,1 s.

Ukupno vreme koje je proteklo od trenutaka kada je vozač „BMW-a” mogao najkasnije da otpočne bočno izmicanje „BMW-a” na levu kolovoznu traku do trenutka sudara iznosilo je 2,4 s.

Vraćanjem „GOLF-a” unazad u smeru prethodnog kretanja po lučnoj putanji prilikom izvođenja radnje skretanja ulevo za

vreme od 2,4 s, našao sam da bi „GOLF" za navedeno vreme prešao put u dužini od 12 m. Međusobnim poređenjem vremena izmicanja „BMW-a" na levu kolovoznu traku do trenutka sudara (2,4 s) i vremena skretanja „GOLF-a" ulevo do trenutka sudara (1,4 s), nalazim da je vozač „BMW-a" otpočeo radnju preticanja za najmanje 1,0 s ranije nego što je vozač „GOLF-a" otpočeo radnju skretanja ulevo.

Vozač „GOLF-a" je imao tehničkih mogućnosti da pažljivijim osmatranjem kolovoza iza „GOLF-a" uoči „BMW" koji se nalazio u početnoj fazi preticanja. Međusobnim poređenjem odstojanja „BMW-a" od mesta sudara, u trenutku kada je vozač „BMW-a" na nastalu opasnost reagovao kočenjem (21 m) i dužine zaustavnog puta „BMW-a" (30 m), našao sam da vozač „BMW-a" nije imao tehničkih mogućnosti da kočenjem zaustavi „BMW" ispred mesta sudara.

U spisima predmeta ne postoje materijalni tragovi, odnosno podaci, na osnovu kojih je moguće saobraćajno-tehničkim veštačenjem utvrditi da li je vozač „GOLF-a", na izvesnoj udaljenosti od mesta skretanja, uključio levi pokazivač pravca, kao što je to naveo vozač „GOLF-a" u izjavi od 09.03.2025. godine, a što će organ postupka ceniti na osnovu subjektivnih dokaza.

3.6 Mišljenje i zaključak veštaka

Imajući u vidu da u spisima predmeta ne postoje materijalni tragovi, odnosno podaci, na osnovu kojih je moguće saobraćajno-tehničkim veštačenjem utvrditi da li je vozač „GOLF-a", na izvesnoj udaljenosti od mesta skretanja, uključio levi pokazivač pravca, kao što je to naveo vozač „GOLF-a samim tim saobraćajno-tehničkim veštačenjem nije moguće utvrditi kako je došlo do ove saobraćajne nezgode, a što će organ postupka ceniti na osnovu subjektivnih dokaza koji su van domena veštaka saobraćajno-tehničke struke.

Ukoliko se ova saobraćajna nezgoda dogodila na način da se vozač „GOLF-a" najpre, pravilnim osmatranjem kolovoza iza „GOLF-a", uverio da radnju skretanja ulevo može da izvrši na bezbedan i propisan način, a nakon uveravanja ostale učesnike u saobraćaju jasno i blagovremeno obavestio uključivanjem levog pokazivača pravca i na kolovozu zauzeo položaj uz razdelnu liniju, na način da je vozač „BMW-a" sa sigurnošću mogao da zaključiti da „GOLF" skreće ulevo, pre nego što je vozač „BMW-a" započeo preticanje „GOLF-a", tada bi se ova saobraćajna nezgoda dogodila kao posledica nepropisnog, nepravilnog i nebezbednog preticanja „GOLF-a" od strane vozača „BMW-a", tada bi na strani vozača „BMW-a" stajao propust uzročno vezan za stvaranje opasne situacije i nastanak ove nezgode, po mom mišljenju.

Ukoliko se ova saobraćajna nezgoda dogodila na način da se vozač „BMW-a" najpre, pravilnim osmatranjem kolovoza ispred „BMW-a", uverio da radnju preticanja može da izvrši na bezbedan i propisan način, a nakon uveravanja ostale učesnike u saobraćaju jasno i blagovremeno obavestio uključivanjem levog pokazivača pravca, a nakon toga na kolovozu zauzeo takav položaj da je vozač „GOLF-a" sa sigurnošću mogao da zaključiti da je vozač „BMW-a" započeo preticanje „GOLF-a", a vozač „GOLF-a" je radnju skretanja ulevo započeo iznenada i bez prethodnog uključivanja levog pokazivača pravca, kao što je to naveo vozač „GOLF-a", tada bi se ova saobraćajna nezgoda dogodila kao posledica nepropisnog, nepravilnog i nebezbednog izvođenja radnje skretanja ulevo od strane vozača „GOLF-a" i to ispred i u blizini „BMW-a", u situaciji kada se vozač „BMW-a" nalazio u fazi preticanja „GOLF-a", tada bi na strani vozača „GOLF-a" stajao propust uzročno vezan za stvaranje opasne situacije i nastanak ove nezgode, po mom mišljenju.

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Prilikom definisanja propusta učesnika nezgode utvrđuje se da li se učesnik u saobraćaju ponašao propisno – u skladu sa propisima koji su navedeni u pravnim aktima, pravilno – u skladu sa pravilima nauke i struke koja su navedena u stručnoj literaturi i bezbedno - na način sebe ili druge time ne dovodi u opasnost. Način na koji veštak saobraćajno-tehničke struke definiše propuste ima velikog uticaja na utvrđivanje krivice, odnosno odgovornosti učesnika saobraćajne nezgode.

Na osnovu analize rezultata rada pravosudnih organa u prethodnom periodu dolazi se do zaključka da pravosudni organi prilikom odlučivanja o krivici, odnosno odgovornosti učesnika nezgode, poslednjih godina, posebno cene da li se učesnik u saobraćajnoj nezgodi ponašao pravilno i bezbedno. Čak postoje situacije u kojima se, samo formalno ceni da li se učesnik u saobraćajnoj nezgodi ponašao propisno.

Iz prethodno navedenog, proizilazi zaključak da je u postupku veštačenja saobraćajnih nezgoda, ne samo moguća, već i obavezna primena teorije izvođenja radnji vozilom u saobraćaju, kako bi se u znatno većoj meri unapredio rad pravosudnih organa u oblasti drumskog saobraćaja.

LITERATURA

[1] Agencija za bezbednost saobraćaja, „Uvod u poslove instruktora vožnje i praktičnu obuku", Priručnik za seminar unapređenja znanja licenciranih kadrova, Beograd, 2022.

[2] Agencija za bezbednost saobraćaja, „Preticanje i obilaženje", Priručnik za seminar unapređenja znanja licenciranih kadrova, Beograd, 2024.

[3] Agencija za bezbednost saobraćaja, „Saobraćaj na raskrsnici", Priručnik za seminar unapređenja znanja licenciranih kadrova, Beograd, 2020.

[4] D. Bogićević, „Nalaz i mišljenje veštaka za potrebe Osnovnog suda u Nišu", Niš, 2025.

[5] S. Kostić, „Ekspertize saobraćajnih nezgoda", FTN, Novi Sad, 2016.

[6] M. Vujanić, „Priručnik za saobraćajno - tehničko veštačenje", TSG, Beograd, 2017.

[7] M. Vujanić, „Zbirka rešenih zadataka iz BS sa praktikumom", SF, Beograd, 2015.

ZAŠTITA FUNDIRANIH STUBOVA U REČNOM KORITU
PROTECTION OF FOUNDATION COLUMNS IN THE RIVERBED

Danijela Zlatković i Jelena Zlatković

Sadržaj – U zavisnosti od hidrauličkih analiza i proračuna pronosa sedimenta, stubovi mosta u rečnom koritu mogu biti veoma ugroženi. Cilj je objasniti i prezentovati na koje probleme se sve može naići u izvođenju radova zaštite stubova mosta od erozije u rečnom koritu.

Ključne reči: Stubovi mosta u rečnom koritu, pronos sedimenta, zaštita stubova mosta.

Abstract – Depending on the hydraulic analyzes and sediment transport calculations, bridge piers in the river bed can be very vulnerable. The goal is to explain and present the problems that can be encountered in the execution of works to protect bridge pillars from erosion in the river bed.

Keywords*:* Bridge pillars in the river bed, sediment transfer, protection of bridge pillars.

1. UVOD

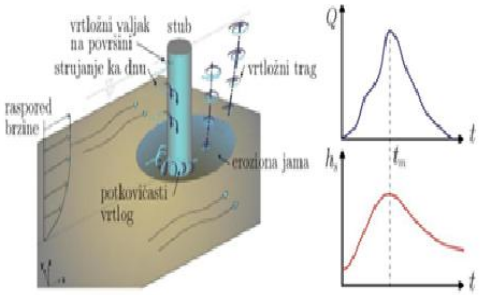
Lokalna erozija rečnog korita u periodu velikih voda predstavlja glavni prirodni uzrok rušenja i oštećenja mostova. Prema statističkim podacima u svetu kao na primer u Americi, u periodu od 1996. do 2005. godine desilo se oko 900 havarija na mostovima, 58% je nastalo usled lokalne erozije rečnog korita, dok na primer u Engleskoj u proseku na svake 2.5 godine desi se jedna havarija mosta, pri čemu je potkopavanje mostovskih stubova i oporaca glavni uzrok rušenja mosta. Na Novom Zelandu najmanje jedno rušenje mosta u vreme poplave dešava se u proseku svake godine. Slični podaci postoje i u drugim zemljama.

Na Slici 1 prikazana je tipična vrtložna struktura oko mostovskog stuba. Poremećaj strujne slike oko čvrste konture objekta dovodi do povećane lokalne brzine i intenzivnijeg pokretanja nanosa na rečnom dnu. Za formiranje erozione jame potrebno je da lokalni transportni kapacitet toka za odnošenje materijala sa dna bude veći od dotoka nanosa sa uzvodne deonice. Sve dok je brzina toka (V) manja od „kritične brzine" za pokretanja svih zrna na dnu (Vc), odvija se erozija u „čistoj vodi", a kada brzina toka premaši ovu kritičnu brzinu, javlja se erozija „pri opšte pokretnom dnu". U ovom drugom slučaju, konačna (terminalna) dubina erozione jame uspostavila bi se pri ravnotežnom stanju, kada se izjednači lokalni transportni kapacitet toka koji odvlači nanos iz erozione jame sa količinom nanosa koji pristiže u erozionu jamu. Relativno kratkotrajni periodi velikih voda nisu dovoljni za dostizanje ravnotežnog stanja, a kritičan period za stabilnost mostovskog stuba je vreme dostizanja vrha poplavnog talasa (Slika 5). Evolucija erozione jame takodje zavisi i od prisustva pokretnih nanosnih formacija. Brzina kretanja dina ili antidina je mnogo manja od brzine formiranja erozione jame. Čak i u uslovima kvazi-ustaljenog tečenja dubina erozione jame osciluje u skladu sa pomeranjem dina ili antidina.

Danijela Zlatković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: danijela.zlatkovic@akademijanis.edu.rs).

Jelena zlatković, JP Zavod za urbanizam Niš, 7. Juli 6 , 18000 Niš (imejl: jelena.zlatkovic@zurbnis.rs).

Kada vrh dine ili antidine dospe do erozione jame, lokalni transport (unos) nanosa se poveća, eroziona jama se zatrpava, a eroziona dubina se privremeno smanjuje. Obrnuto se dešava kada dolja dine ili antidine dospe do erozione jame – eroziona dubina se privremeno povećava. [1].



Slika 1. *Evolucija erozione jame oko mostovskog stuba; levo: vrtložna struktura kao uzrok lokalne erozije ; desno: dinamika formiranja erozione jame; u fazi nadolaska poplavnog talasa, veličina i dubina erozione jame (hs) brzo rastu do svog maksimuma, koji se ostvaruje u periodu vršnog protoka (tm); u recesionoj fazi, eroziona jama se polako puni, kako se, usled opadanja protoka i brzine, lokalni transportni kapacitet smanjuje.*

2. OPŠTI PODACI GEOLOŠKI I HIDRAULIČKI

Kao primer posmatramo most na Južnoj Moravi na Moravskom koridoru Pojate-Preljina E761, gde je bilo neophodno napraviti projekat zaštite stubova mosta u rečnom koritu obale i oporca mosta. Zbog hidrotehničkih analiza je dolazilo do izmena oko zaštite stubova u koritu zbog velike dubine fundiranja u rečnom koritu i načina izvođenja.

Da bi se premostila Južna Morava, na km 8+519 auto-puta grade se 2 paralelna mosta u levoj i desnoj traci auto-puta. Razmatrani prelaz auto-puta nalazi se na najnizvodnijoj deonici Južne Morave, oko 2,5 km uzvodno od njenog spoja sa Zapadnom Moravom, odnosno kraja Velike Morave.

Most se sastoji od 6 stubova. U osnovnom koritu Južne Morave su 2 stuba (P4 i P5), na desnoj inundaciji su stubovi P2 i P3, a na levoj P6 i P7.

- Stubovi u osnovnom koritu i u inundacijama su kružni, prečnika 2,5 m.

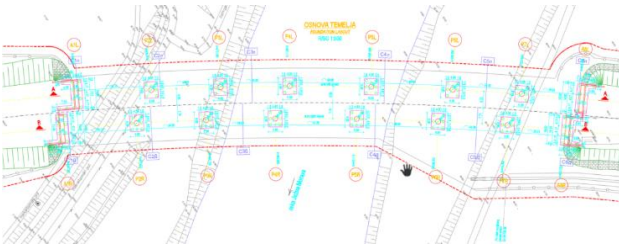
- Kota donje ivice konstrukcije mosta je na koti 139,20 m n.m.

- Raspon između stubova iznosi 36,1+34,0+34,0+40,0+40,0+34,0+29,05 m, idući sa leve na desnu obalu.

- Naglavne ploče su pravougaonog oblika, debljine 2 m. Položaj naglavne ploče stubova P4 i P5 visinski je poziocioniran iznad postojećeg dna korita Južne Morave.

- Naglavna ploča svakog stuba prenosi opterećenje na 6 šipova. Šipovi su prečnika 1,2 m, dužine 10 m.

- Oporci mosta se nalaze na levoj i desnoj obali, na međusobnom rastojanju od 246 m.



Slika 2. *Osnova temelja mosta*

Uvidom u geološki profil, na dnu rečnog korita identifikovan su sledeći slojevi:

- aluvijalni šljunak peskovit (alkŠ) koji se javlja na dubini od 3-3,6 m, u zavisnosti od stuba i trake auto-puta sa kohezijom c'=0 KPa, - kompleks konglomerata, slabovezanih peščara, glinaca i laporaca (M2,3Kg,Pš,Lc*)

– površinska kora raspadanja do dobro zbijenog peska, prašine i šljunka. Javlja sa na dubini od 3-22 m sa kohezijom c'=5 KPa i,

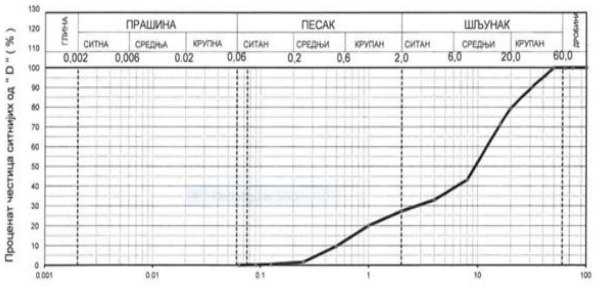
- kompleks konglomerata, slabovezanih peščara, glinaca i laporaca (M2,3Kg,Pš,Lc). Konglomerati su srednjeg do krupnog zrna, dobro cementovani. Javljaju sa na dubini od 5,4-25 m sa kohezijom c'=50 KPa.

Zbog neposredne blizine sloja (M2,3Kg,Pš,Lc*), uzimajući obzir pretpostavke prilikom izrade geološkog profila, eventualna potreba za njegovim iskopom zavisi od stanja kore površinskog raspadanja.

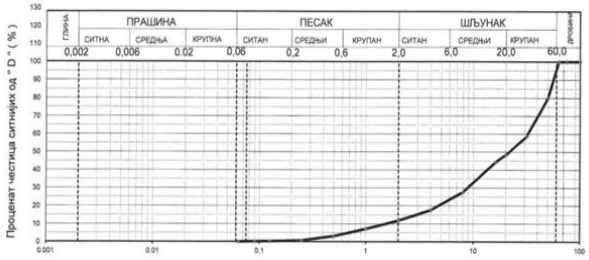
Na osnovu podataka o izvršenim geomehaničkim ispitivanjima tla u zoni planiranog mosta preko reke Južne Morave – konstatovano je sledeće:

Na lokacijama dva stuba u rečnom koritu izvršeni su istražni raskopi odakle su uzeti uzorci za laboratorijska ispitivanja granulometrijskog sastava;

Konstatuje se da u dnu osnovnog korita na predmetnoj lokaciji preovlađuje šljunkovita frakcija, sitnog do srednjeg zrna, sa manjim učešćem peska.



Slika 3. *Dijagram granulometrijskog sastava nanosa iz dna osnovnog korita na lokaciji stuba R5 uz levu obalu korita*



Slika 4. *Dijagram granulometrijskog sastava nanosa iz dna osnovnog korita na lokaciji stuba R4 uz desnu obalu korita*

U narednoj tabeli (Tabela 1) prikazane su maksimalne dubine u zoni stubova projektovanog mosta.

Tabela I *Maksimalne ostvarene dubine u zoni stubova projektovanog mosta za slučaj pojave velike vode Q1%*

	leva inundacija		osnovno korito		desna inundacija	
Stub	P7	P6	P5	P4	P3	P2
H (m)	1.25	3.1	8.3	7.7	2.14	/

U narednoj tabeli (Tabela 2) prikazani su maksimalne ostvarene brzine u zoni stubova projektovanog mosta.

Tabela II *Maksimalne ostvarene brzine u zoni stubova projektovanog mosta za slučaj pojave velike vode Q1%*

	leva inundacija		osnovno korito		desna inundacija	
Stub	P7	P6	P5	P4	P3	P2
Vmax(m/s)	0.9	1.3	3.9	4.5	2	/

Iskop korita u zonama mostovskih stubova P4 i P5 vrši se pod nagibom 1:2 do kote dna iskopa koja iznosi 124,02 mnm. Na iskopanu kosinu postavlja se dva reda geovreća, preko koga se postavlja sloj materijala sitnije granulacije debljine do 30 cm (u svrhu zaštite geovreća od oštećenja oblogom od lomljenog kamena). Geovreće se postavljaju do kote 127,92 mnm (kotu krune naglavne ploče stuba). Preko ovog sloja polaže se sloj materijala iz iskopa debljine oko 30 cm a nakon toga ugrađuje se lomljeni kamen srednjeg zrna d50=0,8 m.

Obloga se pozicionira od ivice naglavne ploče u širini od min 5 m (na koti 127,92 mnm), što iznosi dva prečnika mostovskog stuba.

Nagib spoljne kosina obloge iznosi 1:2 Granulometrijske krive sa minimalnim i maksimalnim vrednostima zrna d10, d15, d50, d60, d85 i d100 za prečnik zrna 0,80 m.

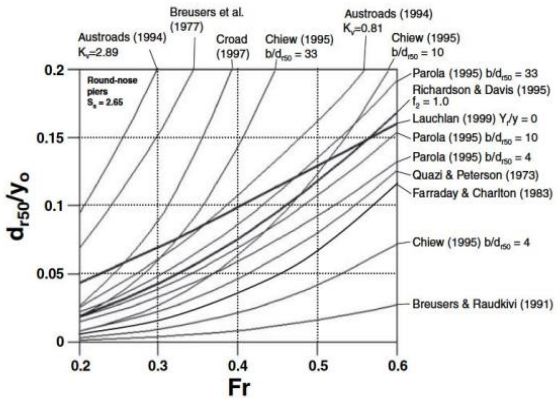
Nakon formiranja obloge od lomljenog kamena, u zonama mostovskih stubova P4 i P5, vrši se dodatni iskop zone minor korita između dve zaštite obloge, na dubini od 1,3 m (do kote 125,20 mnm), zatim se postavlja dva sloja geovreća ukupne debljine 30 cm. Preko geovreća se postavlja sloj do 30 cm materijala sitnije granulacije (u svrhu zaštite geovreća od proboja) i nakon toga polaže kameni tepih debljine 1 m od lomljenog kamena d50=50 cm. Kota krune kamenog tepiha iznosi 126,50 mnm i odgovara usvojenoj koti regulisaniog dna minor korita.Pre postavljanja zaštitne obloge vrši se iskop korita u zoni stuba do projektovane kote iskopa, postavljanje geovreća u dva sloja sa zaštitnim slojem sitnijeg materijala u debljini od 30 cm i ugradnja obloge propisane krupnoće i kvaliteta lomljenog kamena.

Za analizu veličine zrna d50 za zaštitu stubova korišćena modifikovana formuli Izbash:

$$d50 = \frac{0.692(f_1 f_2 V)^2}{(S_s - 1)2g}$$

Ova formula je preporučena u velikom broju različitih publikacija (radova, stručnih knjiga…) za određivanje kamena d50 za zaštitu mostovskih stubova.

Dijagram na kome je prikazano poređenje formula za izbor zrna d50.



Slika 5. *Dijagrami zavisnosti merodavnog zrna d50 od Frudovog broja prema različitim autorima*

Sa dijagrama se vidi da svi dijagrami praktično eksponencijalno rastu sa promenom Frudovog broja (koji predstavlja odnos inercijalnih i gravitacionih sila → V/(gh)1/2), što znači da je sa duplo većom brzinom potrebno 4 puta veće zrno za zaštitu stubova.

Jedina formula koja nema taj oblik je formula Lauchlan, koja glasi

$$\frac{d50}{y} = 0.3 S_f \left(1 - \frac{Y_r}{y}\right)^{2.75} Fr^{1.2} S \qquad (1)$$

Tabela III *Uporedni prikaz potrebnog zrna kamene obloge za most na Južnoj i Moravi, prema empirijskim formulama dva izdvojena autora (Izbash i Lauchlan).*

		leva inundacija		osnovno korito		desna inundacija	
	Stub	P7	P6	P5	P4	P3	P2
	Vmax (m/s)	0.9	1.3	3.2	3.4	2	/
	H(m)	1.25	3.1	8.5	7.5	2.14	/
	Fr(-)	0.26	0.24	0.35	0.40	0.44	/
D50 Izbash	K(-) koef. oblik stuba	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	D50(m)	0.04	0.08	0.49	0.56	0.19	0.00
D50 Lauchlan	Sf-faktor sigurn.	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
	Yr(m) dubina ukop.	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	D50(m) sa ukop.*	0.00	0.08	0.61	0.60	0.07	/
	D50(m) bez ukop.**	0.08	0.18	0.80	0.82	0.26	/

gde je:

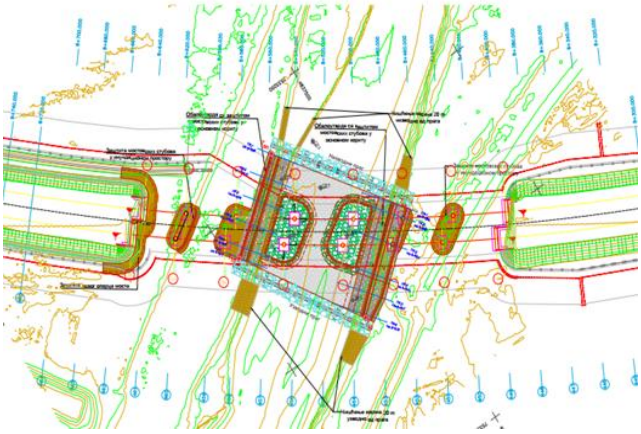
- y – dubina vode (m)
- Sf – faktor sigurnosti (minimalno 1.1)
- Yr – dubina ukopavanja obloge od kamena (m)
- Fr – Frudov broj

Prema ovoj formuli, veličina merodavnog zrna zavisi delimično i od tehničkog rešenja zaštite, tj. od dubine ukopavanja zaštite od kamena ispod dna. Sa povećanjem ukopavanja smanjuje se potrebna veličina kamena za zaštitu. U narednoj tabeli dat je uporedni prikaz potrebnog zrna kamene obloge za most na Južnoj i Moravi, prema empirijskim formulama dva izdvojena autora (Izbash i Lauchlan).

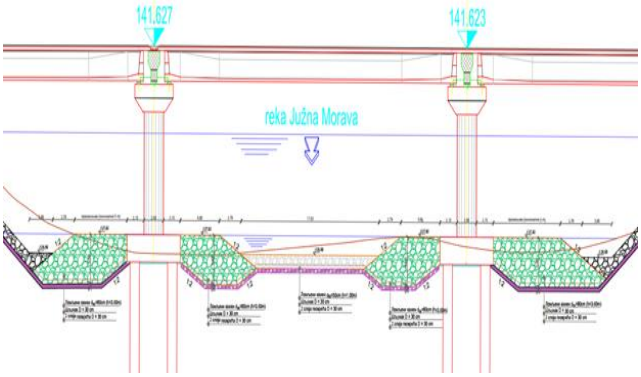
- d50=0,8 m, za stubove koji se nalaze u osnovnom koritu Južne Morave usvaja se (Lauchlan bez ukopavanja). Na osnovu toga usvaja se:

- debljina obloge kamena oko mostovskog stuba u osnovnom koritu iznosi

$$Dk, sok = 4{,}5 \cdot d50 = 4{,}5 \cdot 0{,}8 = 3{,}6\ m. \qquad (2)$$



Slika 6. *Detaljna situacija zaštite mosta od erozije*



Slika 7. . *Poprečni profil zaštite stubova mosta u koritu od erozije*

3. ZAKLJUČAK

Neki specifični problemi zaštite temeljnih stubova u rečnom koritu mogu krenuti već sa raščišćavanjem, nakon izrade zagata protok vode može izazvati eroziju materijala samog zagata pa zbog očišćenog platoa oko fundamenta je ugrožen od potkopavanja. Izradom zagata, sav protok vode je sužen i usmeren na druge ne zaštićene stubove u koritu reke i mogu prouzrokovati eroziju u rečnom koritu i pokopati temeljne stubove. Poplave isto mogu značajno uticati na oštećenje ako stubovi nisu dobro zaštićeni, zato se treba voditi računa o granulaciji kamena, načinu ugradnje i uređenja oko temeljnih stubova. Održavanje temeljninh stubova u koritu reke može biti izazovno zbog surovog okruženja, stalnog prisustva vode, sedimentnih stena i trupaca otežava pregled i održavanje stubova, što dovodi do smanjenja performansi i povećanog rizika oštećenja stubova u rečnom koritu. Za kraj isto toliko su važni i sami troškovi zaštite stubova u koritu reke, mogu biti visoki. Jedinstveni inženjerski dizajn, materijali i tehničke izgradnje čine ga značajnom investicijom i sve navedeno čini specifične probleme zaštite fundiranih stubova u rečnom koritu.

LITERATURA

[1] Briaud et al., Realtime monitoring of bridge scour using remote Monitoring technology, Texas Department of Transportation, Austin, 2010.

[2] Ghani, A., Mohammadour, R, Temporal variation of clear-water scour at compound abutments, Ain Shams Engineering Journal, No. 7, 1045-1052, 2016. VODOPRIVREDA 0350-0519, Vol. 52 (2020).

[3] Jahangirzadeh, A., et al., Experimental and Numerical Investigation of the Effect of Different Shapes of Collars on the Reduction of Scour around a Single Bridge Pier, PLOS ONE, June 2014, Vol. 9, Issue 6, 2014..

[4] Jovanović, M., Ocena rizika od erozije rečnog korita oko mostovskih stubova, VODOPRIVREDA 0350-0519, 38 (2006) 222-224 p..

[5] Lança, R.M. et al., Clear-water scour at comparatively large cylindrical piers, J. Hydraulic Eng. ASCE, 139(11), 1117-1125, 2013.

INTEGRATIVNI PRISTUPI UPRAVLJANJU OTPADOM GRADNJE I RUŠENJA: KOMPARATIVNA ANALIZA MEĐUNARODNIH STUDIJA SLUČAJA I METODOLOŠKIH PRISTUPA

INTEGRATIVE APPROACHES TO MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AND DESTRUCTION WASTE: A COMPARATIVE ANALYSIS OF INTERNATIONAL CASE STUDIES AND METHODOLOGICAL APPROACHES

Milan Protić i Nenad Stojković

Sadržaj – Otpad građenja i rušenja predstavlja jedan od najvećih tokova čvrstog otpada na globalnom nivou, čineći i do 40% ukupnog otpada u pojedinim državama. Tradicionalni linearni model upravljanja zasnovan na deponovanju doveo je do ekoloških, ekonomskih i logističkih izazova, uključujući degradaciju zemljišta, emisije gasova i visok pritisak na prirodne resurse. U poslednjim decenijama razvijaju se integrativni modeli upravljanja C&D otpadom koji kombinuju tehničke inovacije, digitalne tehnologije, regulatorne instrumente i tržišne mehanizme, kao i optimizacione modele za planiranje infrastrukture. Ovaj rad sprovodi komparativnu analizu međunarodnih studija slučaja i metodoloških pristupa koristeći osam radova, uz dodatnu literaturu. Analiza pokazuje da pojedinačni instrumenti imaju ograničeni domet, dok integrisani pristupi daju višestruke koristi: smanjenje otpada, ekonomsku efikasnost, stabilizaciju tržišta sekundarnih sirovina, povećanje kvaliteta reciklata i smanjenje ekološkog uticaja. Rad sintetizuje ključne izazove i preporuke za unapređenje održivog upravljanja otpadom građenja i rušenja.

Ključne reči: Otpad građenja i rušenja, upravljanje otpada, reciklaža, sekundarne sirovine.

Abstract – Construction and demolition waste represents one of the largest streams of solid waste globally, accounting for up to 40% of total waste in some countries. The traditional linear management model based on landfilling has led to ecological, economic, and logistical challenges, including land degradation, greenhouse gas emissions, and high pressure on natural resources. In recent decades, integrative C&DW management models have been developed, combining technical innovations, digital technologies, regulatory instruments, and market mechanisms, as well as optimization models for infrastructure planning. This study conducts a comparative analysis of international case studies and methodological approaches using eight selected studies, supplemented with additional literature. The analysis shows that individual instruments have limited impact, whereas integrated approaches provide multiple benefits: waste reduction, economic efficiency, stabilization of secondary material markets, improved quality of recyclates, and reduced environmental impact. The study synthesizes key challenges and recommendations for improving sustainable construction and demolition waste management.

Keywords: Construction and demolition waste, Waste management, Recycling, Secondary raw materials.

1. UVOD

Otpad nastao građenjem i rušenjem (C&DW) predstavlja jedan od najvećih izazova savremene urbanizacije, posebno u brzo rastućim privredama. U mnogim zemljama udeo ovog otpada premašuje 30% ukupno generisanog otpada, a dominantna metoda zbrinjavanja i dalje ostaje deponovanje [1]. Takav pristup stvara niz ekoloških problema, uključujući dugoročno zauzimanje zemljišta, emisije gasova, potencijalno curenje zagađujućih materija i nepotrebno korišćenje deponija. Pored toga, građevinski sektor troši velike količine prirodnih sirovina, posebno peska, šljunka, drva i čelika, što dovodi do iscrpljivanja resursa i energetskih troškova [2].

Upravljanje C&DW dobija na značaju u kontekstu cirkularne ekonomije, gde se materijali posmatraju kao resurs koji se može ponovo upotrebiti ili reciklirati. Međutim, mnogi faktori otežavaju prelazak na ovakav model.

Milan Protić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milan.protic@akademijanis.edu.rs).

Nenad Stojković, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Katedra za saobraćajnice, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18104 Niš (imejl: nenad.stojkovic@gaf.ni.ac.rs).

To uključuje nedostatak standardizacije materijala, otpor industrije prema korišćenju reciklata, nedovoljnu podršku regulative i slabu koordinaciju učesnika u građevinskom lancu [1].

Brojne zemlje razvijaju različite pristupe rešavanju ovog problema. Kina, kao jedna od najbrže urbanizovanih država, uvodi digitalne sisteme praćenja materijala, kao i regionalno planiranje infrastrukture [3]. Hong Kong je pionir BIM tehnologija za upravljanje materijalima pre i tokom rušenja [4]. Centralna Azija istražuje PESTEL i 3R principe u procesu modernizacije industrije [5]. Tajland i Kanada suočavaju se sa izazovima implementacije u složenim geografskim i institucionalnim uslovima [6] i [7], dok EU prednjači u kreiranju regulatornih mehanizama, uključujući takse na deponovanje i obavezne kvote [8].

Cilj rada je da pruži sistematsku i komparativnu analizu postojećih modela i metodologija upravljanja C&DW, identifikuje njihove prednosti i slabosti, i predloži smernice za razvoj efikasnih, održivih i integrisanih pristupa.

2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

U pregledu je obuhvaćeno osam radova sa različitih geografskih područja. Bao i Lu [3] su analizirali upravljanje otpadom u Shenzenu kroz optimizacione modele raspoređivanja i planiranja infrastrukture. Primenom matematičkih modela poboljšava se pozicioniranje postrojenja, smanjuju se transportni troškovi i emisije. Kang i ostali [4] istraživali su Smart-BIM u Hong Kongu kao alat za kreiranje digitalnih modela objekata pre rušenja. On omogućuje precizno identifikovanje materijala koji se mogu reciklirati. Turkyilmaz i ostali [5] istraživali su zemlje Centralne Azije i njihove političke, ekonomske i društvene uslove primenom PESTEL pristupa.

Turkyilmaz i ostali [1] uporedili su Kinu i SAD, pri čemu su analizirali institucionalne, sociološke i tehnološke razlike. Manowong [6] iz Tajlanda ističe da nedostatak regulative, nadzora i infrastrukture predstavljaju najveće prepreke. Yeheyis i ostali [7] istraživali su Kanadu uz primenu Life Cycle Assessment (LCA) kako bi se procenile emisije i ekološki uticaji recikliranog betona i drugih materijala. Evropska literatura [8] potvrđuje da je politika EU snažno usmerena ka cirkularnoj ekonomiji uz standardizaciju, sertifikaciju i zeleno javno nadmetanje.

Na osnovu navedenih istraživanja može se zaključiti da efikasno upravljanje C&DW zavisi od kombinacije tehnoloških, institucionalnih, regulatornih i logističkih aspekata.

3. METODOLOŠKI PRISTUPI I ANALIZA

SWOT analiza [2] identifikuje četiri osnovne kategorije faktora:

- Snage: institucionalna podrška, politička volja, razvijena industrija.
- Slabosti: fragmentacija aktera, nedostatak standarda, manjak stručnog kadra.
- Prilike: tehnološke inovacije, rast tržišta reciklata, globalni trend cirkularne ekonomije.
- Pretnje: volatilnost cena materijala, otpor korisnika, nedostatak finansijskih podsticaja.

PESTEL pristup [5] analizira široke spoljašnje faktore:

- Politički: državna regulativa, nacionalne strategije.
- Ekonomski: troškovi transporta, cena primarnih materijala, investicije.
- Socijalni: edukacija, percepcija reciklata, javna svest.
- Tehnološki: oprema za reciklažu, BIM, GIS, informacioni sistemi.
- Ekološki: emisije, otpad, uticaj na zemljište.
- Pravni: standardi, sertifikati, inspekcije.

3R princip (Reduce, Reuse, Recycle) obuhvata tri strategije:

- smanjenje generisanja otpada,
- ponovna upotreba elemenata,
- reciklaža materijala.
- Integracija 3R sa PESTEL-om daje širu sliku funkcionisanja sistema.

Smart-BIM tehnologije [4] pokazuju da BIM omogućuje:

- kreiranje digitalnih modela objekata pre rušenja,
- automatsko prepoznavanje materijala,
- evidenciju količina,
- procenu potencijala reciklaže,
- logističko planiranje.

Life Cycle Assessment [7] procenjuje ekološke efekte upotrebe recikliranog materijala. To uključuje:

- emisije CO_2,
- potrošnju energije,
- potrošnju resursa,
- dugoročne ekološke efekte.

VAOMP i logistička optimizacija [9] predstavlja matematički pristup optimizaciji lokacija postrojenja:

- određivanje idealne mreže postrojenja,
- minimizacija udaljenosti,
- integracija sa GIS.

Komparativni modeli služe za identifikovanje razlika između razvijenih i zemalja u razvoju [6] i [8].

Tabela I Uporedni *pregled radova*

Rad / region	Metodologija	Fokus Doprinos
[3] Shenzhen	Optimizacija	Planiranje mreže Smanjenje troškova
[2] Suzhou	SWOT	Institucije Integrisani model
[4] Hong Kong	Smart-BIM	Digitalizacija rušenja Mapiranje materijala
[1] Kina/USA	Pregled Barijere	Komparativna analiza
[5] Centralna Azija	PESTEL + 3R	Makro analiza Strateški okvir
[6] Tajland	Empirijska studija	Implementacija Barijere
[7] Kanada	LCA Ekologija	Uticaj reciklata
[8] EU	Komparativna analiza	Politike Standardizacija

Tabela II *Metodološki pristupi*

Metod Zemlja rad	Prednosti	Slabosti
SWOT [2]	Jasna kategorizacija	Subjektivnost
PESTEL+3R [5]	Sistematičnost	Nedostatak kvantifikacije
BIM [4]	Preciznost, digitalizacija	Troškovi implementacije
LCA [7]	Ekološki parametri	Kompleksnost
VAOMP [9]	Optimizacija mreže	Zahteva visok nivo podataka

Tabela III *Ključni* **izazovi** *po regionima*

Region	Izazovi	Mogućnosti
Kina	Fragmentacija	Digitalizacija
HK	Nedostatak	prostora BIM
Centralna Azija	Slaba regulativa	Reformisanje zakonodavstva
Tajland	Nizak nivo koordinacije	Edukacija
Kanada	Udaljenost	LCA optimizacija
EU	Razlike u standardima	Jedinstvena politika

Institucionalni faktori: Kina i Hong Kong imaju razvijene državne institucije, ali i fragmentaciju među akterima [2]. Suzhou ima snažnu politiku, ali slabu usklađenost industrije. Centralna Azija ima nedovoljno razvijenu regulativu. EU ima standardizovanu politiku, ali razlike među članicama ostaju izazov.

Tehnološki faktori: Hong Kong je lider u primeni Smart-BIM tehnologija [4]. Kina ulaže u digitalne sisteme za

praćenje materijala. Kanada primenjuje LCA. Centralna Azija i Tajland su u ranoj fazi tehnološkog razvoja.

Logistika i tržište: Logistika je ključna u svim regionima. VAOMP modeli pokazuju da pravilno planiranje lokacija postrojenja smanjuje emisije i troškove [9]. Kanada ima problem udaljenosti. EU ima razvijeno tržište reciklata.

Ekološke i ekonomske implikacije: LCA studije pokazuju da reciklirani beton ima nižu emisiju CO_2 od primarnog materijala, i do 30–50% [7]. BIM smanjuje neizvesnost i količinu nepotrebnog otpada [4].

Barijere primene integrativnih modela: Najveće prepreke su:

- nedostatak regulative [6],
- neusklađenost aktera [2],
- nedovoljan kvalitet reciklata [7],
- nedostatak standardizacije [8],
- otpor tržišta i investitora,
- slaba edukacija i svest.

4. DISKUSIJA

Analiza predstavljenih studija jasno pokazuje da integrativni pristupi u upravljanju otpadom građenja i rušenja (C&DW) predstavljaju sveobuhvatno rešenje za postizanje održivosti i ekonomične efikasnosti u urbanim sredinama. Pojedinačni instrumenti, kao što su implementacija BIM tehnologija, primena SWOT ili PESTEL analiza ili regulative EU, imaju ograničen uticaj kada se koriste izolovano. Na primer, SMART-BIM u Hong Kongu [4] omogućuje precizno mapiranje materijala i optimizaciju logistike, ali sam po sebi ne može rešiti problem fragmentacije aktera ili nedostatka regulative u drugim regionima. Slično, LCA analiza u Kanadi [7] pruža podatke o emisijama CO_2 i efikasnosti recikliranih materijala, ali ne utiče direktno na tržišne barijere ili institucionalnu koordinaciju.

Integracija više instrumenata, kako pokazuju Bao i Lu [3], Cheng i ostali [2] i studije EU [8], daje višestruke koristi: smanjenje količine otpada, povećanje stope reciklaže, optimizaciju troškova transporta i deponovanja, stabilizaciju tržišta sekundarnih sirovina, povećanje poverenja korisnika u kvalitet reciklata, kao i podsticanje inovacija u građevinskom sektoru. Optimalni modeli kombinuju tehničke inovacije, regulativne okvire i tržišne mehanizme – što je potvrđeno kroz međunarodne primere iz Kine, Hong Konga, Centralne Azije, Tajlanda, Kanade i EU.

Međutim, uspeh integrativnih modela zavisi i od lokalnih institucionalnih i ekonomskih uslova. U zemljama u razvoju, poput Tajlanda [6] ili Centralne Azije [5], glavne prepreke su nedostatak regulative, slaba koordinacija aktera, niska svest i ograničena infrastruktura. U ovakvim kontekstima, prednost imaju pristupi koji kombinuju institucionalne reforme, edukaciju, tehnološku podršku i podsticaje za uspostavljanje tržišta reciklata. S druge strane, razvijene zemlje, kao što su članice EU [8] ili Kanada [7], suočavaju se sa izazovima standardizacije, integracije različitih politika i optimizacije logistike, iako imaju razvijenu infrastrukturu i regulatorni okvir.

Pored institucionalnih i regulatornih aspekata, metodološki alati igraju ključnu ulogu u efikasnoj implementaciji. SWOT i PESTEL analize [2] i [5] omogućuju sistematsko identifikovanje snaga, slabosti, prilika i pretnji, dok VAOMP i GIS optimizacija [9] osiguravaju efikasno raspoređivanje postrojenja i minimizaciju troškova transporta i emisija. Integracija digitalnih tehnologija, posebno BIM i smart-BIM [4], pruža precizne informacije o materijalima i potencijalu reciklaže, što smanjuje količinu nepotrebnog otpada i olakšava planiranje procesa rušenja. LCA pristupi [7] dodatno omogućuju kvantifikaciju ekoloških koristi recikliranih materijala i njihovog uticaja na emisije CO_2.

Zajednički zaključak svih analiziranih radova jeste da samo integrisani pristupi – koji objedinjuju regulatorne, tehnološke, logističke i tržišne aspekte – mogu dugoročno osigurati održivost C&DW sistema. Takvi modeli ne samo da doprinose smanjenju ekoloških uticaja, već i podstiču ekonomske koristi, stvaraju nova radna mesta i unapređuju cirkularnu ekonomiju. Dalja istraživanja i implementacija moraju obratiti pažnju na lokalne specifičnosti, uključujući institucionalni kapacitet, tržišne dinamike i tehnološku spremnost, kako bi integrativni pristupi bili uspešno primenjeni u različitim geografskim i kulturnim kontekstima.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu komparativne analize međunarodnih studija slučaja i metodoloških pristupa, može se zaključiti da efikasno upravljanje otpadom građenja i rušenja zahteva integrativni pristup koji kombinuje više dimenzija: tehnološku inovaciju, regulativnu podršku, logističku optimizaciju i tržišne mehanizme. Pojedinačni instrumenti, poput BIM tehnologija, LCA procena, PESTEL ili SWOT analiza, imaju korisnu, ali ograničenu primenu. Najveći efekat postiže se kombinovanjem digitalizacije, optimizacije logistike (VAOMP), standardizacije reciklata, regulatornih instrumenata (kvote, takse) i koordinacije aktera unutar institucionalnog okvira.

Studije slučaja iz Kine, Hong Konga, EU, Kanade, Tajlanda i Centralne Azije pokazuju da integrativni modeli omogućuju smanjenje količine otpada, povećanje stope reciklaže, smanjenje emisija CO_2, racionalizaciju troškova transporta i deponovanja, kao i podsticanje inovacija i stvaranje novih radnih mesta. Digitalne tehnologije, kao što su BIM i GIS, omogućuju precizno mapiranje materijala, planiranje demontaže i evidenciju recikliranih materijala, dok metodološki alati, poput LCA, kvantifikuju ekološke efekte i dugoročne koristi recikliranih resursa.

Integrativni pristup takođe olakšava razvoj stabilnog tržišta sekundarnih sirovina kroz standardizaciju i sertifikaciju kvaliteta reciklata, što povećava poverenje investitora i korisnika u upotrebu sekundarnih materijala. Regulativa i ekonomski podsticaji, posebno u zemljama sa razvijenim institucionalnim okvirom, dodatno podstiču cirkularne tokove i smanjuju zavisnost od primarnih resursa.

Preporuka za buduća istraživanja je detaljnija analiza ekonomskih modela primene recikliranih materijala, razvoj digitalne infrastrukture za upravljanje C&DW, primena

standardizovanih procedura i sertifikacija kvaliteta reciklata, kao i praćenje uticaja na lokalne i globalne ekološke pokazatelje. Primena integrativnog pristupa omogućuje ostvarenje ciljeva održivosti u građevinskom sektoru, smanjenje ekoloških i ekonomskih troškova, kao i podsticanje razvoja cirkularne ekonomije u urbanim sredinama širom sveta.

LITERATURA

[1] M. S. Aslam, B. Huang, L. Cui, „Review of construction and demolition waste management in China and USA“, Journal of Environmental Management, vol 264, 2020.

[2] B. Cheng, J. Huang, Z. Guo, J. Li and H. Chen, „Towards sustainable construction through better construction and demolition waste management practices: a SWOT analysis of Suzhou, China“, International Journal of Construction Management, vol 23, pp. 2614-2624, 2023.

[3] Z. Bao,W. Lu, „Developing efficient circularity for construction and demolition waste management in fast emerging economies: Lessons learned from Shenzhen, China“, Science of The Total Environment, vol 724, 2020.

[4] K. Kang, S. Besklubova, Y. Dai, R. Y. Zhong, „Building demolition waste management through smart BIM: A case study in Hong Kong“, Waste Management, vol 143, pp. 69-83, 2022.

[5] A. Turkyilmaz, M. Guney, F. Karaca, Z. Bagdatkyzy, A. Sandybayeva and G. Sirenova, „A Comprehensive Construction and Demolition Waste Management Model using PESTEL and 3R for Construction Companies Operating in Central Asia“, Sustainability, vol 11, pp. 1593, 2019.

[6] E. Manowong, „Investigating factors influencing construction waste management efforts in developing countries: an experience from Thailand“, Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy, vol 30, pp. 56-71, 2012.

[7] M. Yeheyis, K. Hewage, M. S. Alam, C. Eskicioglu, R. Sadiq, „An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analy-sis approach to sustainability“, Clean Technologies and Environmental Policy, vol 15, pp. 81-91, 2012,

[8] European Economic Area, EU politike upravljanja otpadom građenja i rušenja.

[9] A. Vafaeinejad, S. Bolouri, A. A. Alesheikh, M. Panahi and C.-W. Lee, „The Capacitated Location-Allocation Problem Using the VAOMP (Vector Assignment Ordered Median Problem) Unified Approach in GIS (Geospatial Information Systam)“, Machine Learning Techniques Applied to Geospatial Big Data, vol 10, 2020.

ŽEŽELJEV MOST NA DUNAVU: PRIMER INOVATIVNE MOSTOGRADNJE I INŽENJERSKOG NASLEĐA

ŽEŽELJEV BRIDGE ON THE DANUBE: AN EXAMPLE OF INNOVATIVE BRIDGE CONSTRUCTION AND ENGINEERING HERITAGE

Dušan Kocić i Jelica Protić

Sadržaj – U radu je dat osvrt na konstrukciona rešenja starog Žeželjevog mosta na Dunavu u Novom Sadu. Most je građen od 1957. do 1961. godine, prema projektu akademika i građevinskog inženjera Branka Žeželja, po kome je i dobio ime. Konstrukciju su činila dva luka raspona 211 i 165,5 metara, sa kolovozom vešanim o lukove. Primenjena je inovativna metoda radijalnog kablovskog prednaprezanja, koju je Žeželj patentirao. Po završetku gradnje most je dugo bio rekorder po veličini lučnog raspona – najveći lučni most u Evropi i najduži lučni most za železnički saobraćaj na svetu. Njegovo konstrukcijsko rešenje bilo je jedinstveno i prvi put primenjeno u Jugoslaviji, a kasnije je poslužilo kao model za mnoge mostove širom sveta. Zbog ovih inovacija Žeželj je 1960. godine dobio nagradu na Svetskom kongresu za prednaprezanje (FIP) u Rimu. Kvalitet mosta potvrđen je i time što je tokom NATO bombardovanja 1999. godine srušen tek nakon šest pogodaka. Devetnaest godina kasnije izgrađen je novi čelični most, koji vizuelno ima sličnost sa originalnom.

Ključne reči: Most, prethodno naprezanje, beton, lučna konstrukcija.

Abstract – the paper provides an overview of the structural solutions of the old Žeželj Bridge over the Danube in Novi Sad. The bridge was built between 1957 and 1961, based on the design of academician and civil engineer Branko Žeželj, after whom it was named. Its structure consisted of two arches with spans of 211 and 165.5 meters, with the roadway suspended from them. An innovative method of radial cable prestressing, patented by Žeželj, was applied. Upon completion, the bridge held the record for the largest arch span for many years — it was the largest arch bridge in Europe and the longest arch bridge for railway traffic in the world. Its structural system was unique and was used for the first time in Yugoslavia, later serving as a model for numerous bridges worldwide. Due to these innovations, Žeželj received an award at the 1960 World Congress for Prestressing (FIP) in Rome. The quality of the bridge was demonstrated by the fact that it collapsed only after six strikes during the NATO bombing in 1999. Nineteen years later, a new steel bridge was built, visually resembling the original.

Keywords: Bridge, prestressing, concrete, arch construction.

1. UVOD

Nakon Drugog svetskog rata građevinarstvo u Jugoslaviji razvijalo se izuzetno brzo, podstaknuto intenzivnom industrijalizacijom i hitnom potrebom za obnovom razorene infrastrukture. Među najistaknutijim inovatorima izdvajao se akademik Branko Žeželj, koji je patentirao više od dvadeset konstruktorskih rešenja i postao jedan od ključnih pionira primene prethodnog naprezanja betona, kako u Jugoslaviji, tako i na međunarodnom nivou. Njegov najpoznatiji projekat bio je most preko Dunava u Novom Sadu, kasnije nazvan Žeželjev most, koji predstavlja jedno od najznačajnijih dostignuća jugoslovenske mostogradnje [1]. Most je građen od 1957. do 1961. godine i po statičkom sistemu pripadao je kategoriji betonskih lučnih mostova. Sastavljen je od dva dominantna betonska luka raspona 211 i 165,5 metara, o koje je kolovozna konstrukcija bila obešena pomoću betonskih vešaljki. Žeželj je, radi očuvanja plovnog profila Dunava, osmislio posebno konstruktivno rešenje koje je podrazumevalo izgradnju lukova u tri segmenta.

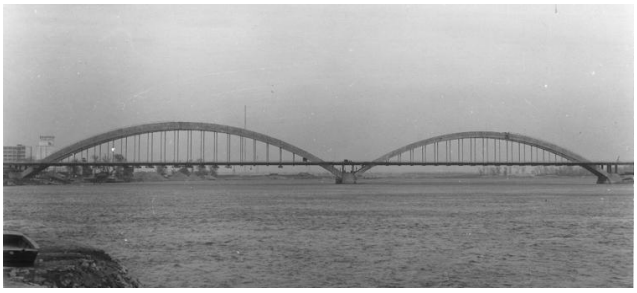
Dušan Kocić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: dusan.kocic@akademijanis.edu.rs).

Jelica Protić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: jelica.protic@akademijanis.edu.rs).

Takav način montaže bio je izuzetno pogodan za velike reke, gde se često izbegava postavljanje privremenih oslonaca u koritu.

Primena prethodnog naprezanja betona, u kombinaciji sa inovativnim statičkim konceptom, učinila je ovaj most prvim lučnim mostom na svetu izgrađenim takvom tehnologijom. Veliki luk od 211 metara postavio je evropski rekord u oblasti betonskih lučnih konstrukcija i dugo je važio za najveći betonski lučni most u svetu preko koga je saobraćao voz. Sve do njegovog uništenja tokom NATO bombardovanja 1999. godine, Žeželjev most je predstavljao ključnu saobraćajnu kariku Novog Sada, povezujući gradsko jezgro sa industrijskim zonama i evropskim Koridorom X [2]. Osim infrastrukturne uloge, most je sa godinama dobio i snažan simbolički karakter — njegova prepoznatljiva silueta bila je jedan od vizuelnih identiteta grada i važan element urbanog pejzaža, slika 1. Rušenje mosta izazvalo je ozbiljne posledice po železnički i drumski saobraćaj, prekidajući vitalnu vezu preko Dunava i ostavljajući dubok trag u kolektivnoj svesti stanovnika. Time je njegova vrednost prevazišla okvire tehničkog dostignuća i postala deo kulturno-istorijskog nasleđa Novog Sada [3].

2. KONSTRUKCIJA MOSTA



Slika 1. *Prikaz mosta preko Dunava u Novom Sadu [4]*

Drumsko-železnički most preko Dunava u Novom Sadu nalazio se na trasi glavne međunarodne saobraćajnice Beograd – Budimpešta, najkraće veze između Srednje Evrope i Bliskog i Srednjeg Istoka. Most je imao značajnu ulogu i u nacionalnom kontekstu, povezujući plodna područja Vojvodine sa ostatkom Srbije, kao i u saobraćajnom, privrednom i industrijskom razvoju Novog Sada.

Pre Drugog svetskog rata saobraćaj je bio organizovan preko dva odvojena mosta – drumskog i železničkog – koji su tokom ratnih dejstava uništeni. Privremeno rešenje nakon rata bio je čelični rešetkasti drumsko-železnički most, čija je konstrukcija otežavala i usporavala saobraćaj.

Izgradnja novog mosta predstavljala je ključni korak za celovito rešavanje železničkog čvora i pristaništa u Novom Sadu. Most je premošćavao Dunav na mestu izražene krivine rečnog korita, u zoni pristaništa, a budući da se nalazio u užem gradskom jezgru, morao je zadovoljiti i estetske i urbanističke zahteve.

2.1 PROJEKAT MOSTA

Ukupna širina regulisanog korita Dunava u zoni mosta iznosila je 340,0 m, pri čemu je minimalni plovni profil predviđao širinu od 190,0 m pri nultom vodostaju i 210,5 m pri maksimumu. Visina plovnog profila pri visokom vodostaju bila je 6,0 m, uz dodatni manji plovni profil za uzvodnu vuču.

Most je projektovan za železnički saobraćaj sa gornjom ivicom praga na koti 88,05 m, omogućavajući premošćavanje ulica širine 15,0 m na obe obale. Ukupna dužina konstrukcije između krajnjih oslonaca iznosila je 466,45 m i bila je podeljena na četiri segmenta: dve glavne i dve priobalne konstrukcije. Glavni plovni tok premošćen je lukom raspona 211,0 m, a ostatak korita lukom od 165,75 m. Priobalna konstrukcija na petrovaradinskoj strani bila je jednostavna greda raspona 26,0 m sa prepustom 2,72 m, dok je novosadska imala kontinualni nosač 10,0 + 20,0 + 10,0 m sa prepustom 3,50 m.

Širina kolovozne ploče iznosila je 20,15 m, sa proširenim pešačkim stazama na mestima ukrštanja sa lukovima. Čista širina između lukova bila je 14,05 m – 4,40 m za železnicu, 9,0 m za kolovoz. Reviziona železnička staza širine 1,0 m i pešačke staze korisne širine 5,15 m takođe su bile predviđene.

2.2 Luk raspona L=210,0 m

Glavnu konstrukciju činila je uklještena lučna konstrukcija raspona 211,0 m, sa odnosom strele i raspona f:L = 1:6,5. Moment inercije smanjivao se od temena ka osloncima, gde je naglo rastao, a strela luka iznosila je 32,50 m. Osovinski razmak između lukova bio je 16,55 m.

Luk je imao sandučasti presek: visina preseka u temenu bila je 4,50 m, a na osloncima 3,20 m, dok je širina iznad kolovoza konstantna (2,50 m), a ispod se širila do 4,70 m. Bočni zidovi su bili 25 cm, a gornja i donja ploča od 62 cm do 1,20 m. Presek je bio armiran i radijalno prethodno napregnut.

Veći deo kolovoza bio je obešen o luk pomoću osmougaonih vešaljki od prethodno napregnutog betona Sekundarni poprečni nosači, četiri podužna nosača, kolovozna ploča i konzole sa pešačkom stazom izrađeni su na licu mesta. Kolovozna ploča je krstasto armirana, sa dilatacionim spojnicama, slika 2.



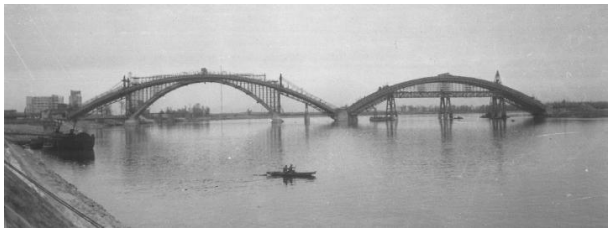
Slika 2. *Izgled kolovozne poloče i sekundarnih nosača [5]*

Lukovi su povezani rešetkastim spregom od prethodno napregnutih montažnih elemenata, slika 3. Za stabilnost pri bočnim opterećenjima predviđeno je sandučasto ukrućenje ispod kolovoza, formirajući zatvoren ram.



Slika 3. *Izgled luka sa rešetkastim spregom [5]*

Skela za izgradnju velikog luka omogućavala je prolaz brodova širine 100 m i bila minimalno oslonjena u reci zbog brzine, dubine i mogućih nanosa leda, slika 4. Projektovana je od pet polja, sa dva bočna od montažnih čeličnih konstrukcija i jednim srednjim raspona 108 m, izrađenim od dvozglobnih lukova od armiranobetonskih elemenata povezanih poprečnim riglama i dijagonalama.



Slika 4. *Prikaz skele tokom izrade lukova [5]*

Betoniranje luka izvedeno je u tri faze, pri čemu je donji prsten nakon prve faze osposobljen da primi sopstvenu težinu i opterećenja narednih faza. Veliki luk raspona 108 m montiran je plovnom dizalicom (nosivost 50 t, visina dizanja 35 m), a elementi težine 16,5–24 t zglobno su oslonjeni i pridržavani kablovima dok luk nije postavljen. Oslonci skele izvedeni su kao sandučaste konstrukcije ojačane rebrima.

2.3 Luk raspona L=165,75 m

Manji luk raspona 165,75 m imao je isti odnos stinjenosti f:L = 1:6,5 kao i veći luk, sa strelom od 26,50 m i osovinskim razmakom između lukova od 16,55 m. Konstrukcija je bila zatvorenog sandučastog preseka promenljive visine – u temenu 3,63 m, pri osloncima 2,60 m, sa odnosom visine prema rasponu h:L = 1:46–1:64. Širina luka iznad kolovoza bila je 2,20 m, a ispod kolovoza se širila do 4,20 m. Bočni zidovi preseka imali su debljinu 25 cm, dok su gornja i donja ploča varirale od 50 cm do 90 cm. Presek je bio armiran, sa radijalno prethodno napregnutim bočnim zidovima.

Kolovoz je bio obešen o luk pomoću osmougaonih vešaljki od prethodno napregnutog betona. Vešaljke su projektovane kao montažni elementi sa delimičnim naprezanjem na mestu izrade i dodatnim naprezanjem pri povezivanju sa lukom i poprečnim nosačem. Manji deo kolovoza oslonjen je na armiranobetonske stubove pravougaonog preseka. Poprečni nosači su takođe bili montažni, od prethodno napregnutog betona, dok su sekundarni nosači, četiri podužna nosača, kolovozna ploča i konzole pešačkih staza većinom izvedeni na licu mesta, osim montažnih delova pešačke staze. Podužni nosači su kontinuirani sa uklještenim osloncima, a kolovozna ploča krstasto armirana sa dilatacionim spojnicama iznad stubova i u sredini raspona.



Slika 5. *Montaža lučne skele velikog luka [4]*

Skela manjeg luka izvedena je od montažnih konstrukcija "Kohn" i "Rotwagner" sa četiri polja, a tri pomoćna oslonca fundirana su na šipovima prethodno napregnutog betona dužine 15 i 17 m, preseka 35 x 35 cm, slika 5. U jednom temelju nalazilo se 10–14 šipova.

3. RUŠENJE MOSTA

24. marta 1999. godine, članice NATO alijanse predvođene SAD, započele su vojnu agresiju na Saveznu Republiku Jugoslaviju. Pod izgovorom sprečavanja humanitarne katastrofe na Kosovu i Metohiji, bombardovani su vojni i civilni ciljevi širom zemlje, uz primenu kasetnih bombi i bombi sa osiromašenim uranijumom. NATO nije dobio saglasnost Saveta bezbednosti UN za intervenciju. Tokom agresije svi mostovi u Novom Sadu su uništeni. Most Bratstva i Jedinstva, poznat kao Žeželjev most, dugo je odolevao napadima, a srušen je tek 26. aprila 1999. godine, posle šest pokušaja. Glavni cilj bombardovanja bio je rečni stub, koji je pogođen desetinama projektila. Lučni statički sistem prenosi sile koso na oslonce, koje je moguće razložiti na horizontalne i vertikalne komponente. Pošto su krajevi luka oslonjeni na rečni stub, uništenje stuba dovelo je do toga da se lukovi oslonili jedan na drugi, praktično „levitirajući", čime prvobitni pokušaji rušenja nisu uspeli.

Tek nakon bočnih udara manjih lukova krstarećim raketama, oba manja luka zajedno sa kolovoznom pločom i spregovima prevrnuta su u reku, čime je rušenje mosta konačno uspešno izvedeno. Na slici 6 prikazan je most pre i posle rušenja.



Slika 6. *Slika iz aviona pre i nakon rušenja mosta [6]*

Devetnaest godina kasnije, na mestu starog mosta izgrađen je novi čelični lučni most koji vizuelno podseća na originalni betonski objekat.

4. ZAKLJUČAK

Drumsko-železnički most preko Dunava u Novom Sadu bio je mnogo više od običnog infrastrukturnog objekta – predstavljao je ključnu tačku povezivanja, ne samo u saobraćajnom smislu, već i u urbanističkom, ekonomskom i strateškom kontekstu. Most je spajao plodna područja Vojvodine sa ostatkom Srbije, omogućavao brzu komunikaciju između regiona i doprinosio razvoju industrije, trgovine i privrede u Novom Sadu. Ovaj most bio je rezultat pažljivo osmišljenog i revolucionarnog inženjerskog rešenja, koje je uspešno odgovorilo na složene tehničke, saobraćajne i estetske zahteve jednog modernog grada. Njegova konstrukcija, zasnovana na naprednim principima lučnih i sandučastih nosača, služila je kao uzor mnogim inženjerima u

zemlji i inostranstvu, pokazujući kako znanje i inovacija mogu da prevaziđu tehničke izazove.

Izgradnja mosta ostvarena je zahvaljujući posvećenosti domaćih stručnjaka i radnika, čime je postao simbol napretka i modernizacije. Njegovo postojanje svedočilo je o umeću, ambicijama i vrednostima tadašnje države i društva, predstavljajući deo kulturnog i istorijskog identiteta Novog Sada. Rušenje mosta tokom NATO agresije 1999. godine nije samo prekinulo važne saobraćajne tokove već je predstavljalo ozbiljan udarac istorijskom nasleđu, simbolici tehničkog i urbanističkog razvoja i kolektivnoj svesti građana. Ovaj događaj označio je kraj jednog značajnog perioda u istoriji grada, ali i potvrdu vrednosti mosta kao simbola strukturne genijalnosti i društvenog identiteta.

LITERATURA

[1] B. Stojadinović, N. Bubić, B. Žugić, Nove konstrukcije velikih montažnih lučnih mostova, Savetovanje „Savremena građevinska praksa“, Zlatibor, 2011.

[2] G. Mladenović, V. Petrović, V. Lukić, Geotechnical Investigations for the Design of Foundation of the Bridge across the Danube River at Novi Sad, 3rd International Conference on New Trends in Geoengineering, Construction and Environment, Belgrade, 2014.

[3] B. Bojović, B. Banić, M. Domanović, M. Denić, Identification of Key Parameters in the Finite Element Model Updating Procedure for a Steel Frame Structure, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 419, 012032, 2018.

[4] B. Grujić, L. Benedetić, Izveštaj o ispitivanju drumsko-železničkog mosta preko Dunava u Novom Sadu. Luk 211 m, Beograd: Institut za ispitivanje materijala SR Srbije, 1963.

[5] B. Grujić, L. Benedetić, Izveštaj o ispitivanju drumsko-železničkog mosta preko Dunava u Novom Sadu. Luk 165 m, Beograd: Institut za ispitivanje materijala SR Srbije, 1963.

[6] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pre_post_strike_assesment_Novi_Sad_May_3_1

ANTITEZA PRAVEDNOJ I EKOLOŠKOJ TRANZICIJI – INTERPRETACIJA GRADITELJSKOG NASLEĐA U IZGRADNJI SMEŠTAJNIH KOMPLEKSA ZA MASOVNI TURIZAM

AN ANTITHESIS TO A JUST AND ECOLOGICAL TRANSITION – INTERPRETATION OF ARCHITECTURAL HERITAGE IN MASS TOURISM ACCOMODATION COMPLEXES

Aleksandra Marinković

Sadržaj – U ovom radu predstavljena su dva primera nasleđenih smeštajnih kompleksa koji predstavljaju graditeljsko nasleđe i/ili imaju vrednost kulturnog nasleđa sačuvanu u kolektivnoj svesti. Analizirane su njihove prvobitne karakteristike i kvaliteti kao jedinica za smeštaj turista a zatim i proces transformisanja ovih kompleksa u poslednjoj deceniji i njihove karakteristike nakon perioda intenzivne izgradnje. Oba kompleksa se nalaze u planinskom naselju Zlatibor.

Ključne reči: graditeljsko nasleđe, duh mesta, otvoreni prostor, nivoi privatnosti.

Abstract – In this paper, two examples of inherited complexes for turist accommodation are presented, that represent architectural heritage and/or have a cultural heritage value preserved in the collective consciousness. Their original characteristics and qualities as tourist accommodation units were analyzed, as well as the process of transforming these complexes in the last decade and their characteristics after the period of intensive construction. Both complexes are located in the mountain settlement of Zlatibor.

Keywords: built heritage, sense of place, open space, levels of privacy.

1. UVOD

Sve izraženiji efekti klimatskih promena prisutnih na globalnom nivou privlače pažnju kako naučne i stručne javnosti tako i zvaničnih tela i komisija koje rade pri institucijama Evropskog parlamenta. Evropski zeleni dogovor [1] je dokument kojim Evropska komisija trasira put tranzicije ka pravednoj i ekološki odgovornoj budućnosti. Države članice se obavezuju da primenom pravila i smernica iz ovog dokumenta smanje svoj ekološki otisak i time doprinesu održanju i/ili unapređenju kvaliteta života svih svojih stanovnika sa motom da „niko ne bude izostavljen“.

Intenzivna izgradnja koja se tokom poslednje dve decenije odvija u gradovima i mestima Srbije ima tendenciju da razara urbana tkiva unoseći strukture, forme i materijale bez graditeljskih presedana na posmatranim lokacijama, ali što je mnogo važnije, i bez ekoloških vrednosti, često niskog kvaliteta gradnje i sa upitnim estetskim kvalitetima. Ovakav pristup izgradnji utiče negativno na kvalitet životne sredine, jer se često gradi nauštrb prirodnog zelenog okruženja, sa materijalima čija upotreba narušava postojeću mikrokimu u eksterijeru i doprinosi stvaranju niskog nivoa komfora u enterijeru, što direktno utiče i na kvalitet života ljudi.

Ovim radom se oslovljava neadekvatan pristup očuvanju graditeljskog nasleđa i uloge koju ono ima u sprovođenju pravedne i ekološke tranzicije. Primenjena metodologija predstavlja set komplementarnih metoda, relevantnih za predmet istraživanja. Prikupljanje podataka vršeno je istorijskom metodom, pretragom dostupnih arhivskih i savremenih izvora koji se bave ovom tematikom.

Aleksandra Marinković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: aleksandra.marinkovic@akademijanis.edu.rs).

Deskriptivni i metod analize primenjeni su prilikom sagledavanja i predstavljanja karakteristika analiziranih kompleksa, u originalnom i novonastalom kontekstu. U zaključnim razmatranjima primenjen je metod sinteze.

2. KONTEKST RAZVOJA NESELJA ZLATIBOR

Više od jednog veka lokalne vlasti Zlatibora su posvećene promociji prirodnih resursa i proizvoda ove planine kako bi privukle turiste i investitore i povezale ih sa mestom – kupovinom nekretnine ili izgradnjom kuće. Tokom 20. veka izgrađeni su hoteli, infrastruktura i drugi sadržaji kako bi se turistima pružila udobnost i produžio njihov boravak. Ponuda je proširena na zdravstveni i konferencijski turizam, izgrađeno je veštačko jezero, rekreativni i sportski objekti [2]. U širem području, formirano je etno selo Sirogojno (1979) sa originalnim kućama tradicionalne arhitekture iz svih delova Zlatibora, kao doprinos zaštiti graditeljskog nasleđa, a 1983. je proglašeno kulturnim dobrom od izuzetnog značaja. Svi ovi napori činjeni su da se boravak u naselju Zlatibor učini privlačnim i sadržajnim za turiste, a da lokalno stanovništvo dobije bolji kvalitet života.

Tokom poslednjih decenija naselje Zlatibor se ubrzano širilo a centralna zona je pretrpela brojne periodične transformacije, u skladu sa stvorenom percepcijom o rastućim potrebama prostornih kapaciteta za izgradnju apartmanskih zgrada. Lokalnim planskim dokumentima je predviđeno i omogućeno širenje naselja nauštrb pošumljenih prostora – procenat površina pod šumama i šumskim parkovima će se značajno smanjiti, sa 15,18 na 9,22 do 2030. godine [3]. Permanentno je u porastu broj stambenih i smeštajnih jedinica, bez sagledavanja stvarne potrebe za smeštajnim kapacitetima, vođen kreiranom potrebom za novom izgradnjom. Vremenom

se kristalisala težnja ka profilisanju Zlatibora kao odredišta za „luksuzni“ turizam, koji je podrazumevao visoku cenu apartmana uz često nametnuti narativ „luksuza“ za stambene jedinice minimalnih veličina i standardne opremljenosti.

I uprkos tome što u svim lokalnim građevinskim aktima postoji preporuka da u oblikovanju i obradi fasada novih zgrada naglasak bude na primeni elemenata kojima se referencira lokalna tradicionalna arhitektura, te reference podrazumevaju samo povremenu upotrebu materijala poput drveta ili kamena u dekoraciji fasada, generički, bez jasnog ili asocijativnog povezivanja sa lokalnom arhitekturom i često bez arhitektonske vrednosti.

3. STUDIJE SLUČAJA – KOMPLEKSI TITOVA VILA I KRALJEVI KONACI

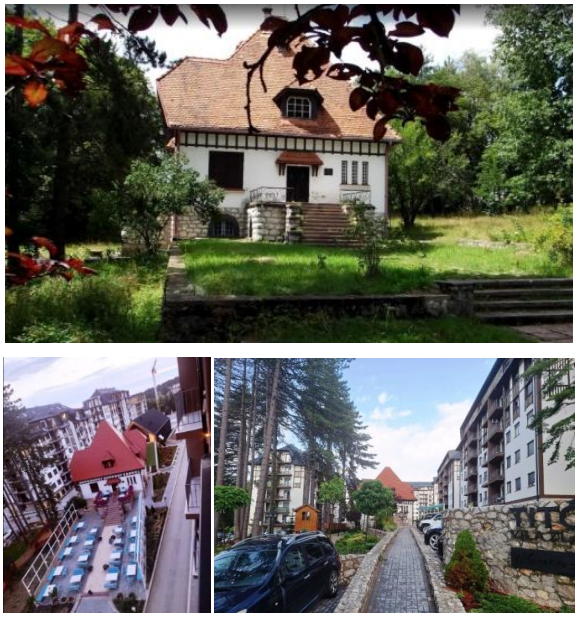
Politikom planiranja utvrđenom davne 1922. godine, definisan je pravac razvoja planinskog naselja Zlatibor – deo naselja parcelisan je sa namerom komercijalizacije iskustva planinskog života. Formirane su privatne parcele za prodaju tadašnjoj društvenoj eliti iz gradova, za izgradnju vila kao „planinskih utočišta“ [4]. Prostranim dvorištima i izdašnim prostorom između izgrađenih vila, osiguravala bi se privatnost stanara i atmosfera mirnog planinskog okruženja. Ovakav pristup usvojen je kako bi se sačuvali prirodni resursi i karakteristike života na planini, uz stratešku popularizaciju i neophodno prilagođavanje potrebama imućne klijentele tog perioda, čijim standardima života boravak u kućama tadašnjih naselja na Zlatiboru ne bi odgovarao. Kasnije, tokom socijalističke Jugoslavije, dostupnost planinskog turizma se proširuje izgradnjom hotela i vikend naselja, pa ova planina postaje otvorena za sve socio-ekonomske grupe. No, i tada su precizno lokalizovane zone turističkih naselja a prostrana područja brda i padina definisana su kao javno dostupni otvoreni prostori sa primarno rekreativnom namenom.

Kompleks Titova vila, prvobitno je činila zgrada sa zemljištem izgrađena 1937. a stavljena je pod zaštitu države 1949. (zbog značaja koji je imala tokom i posle II sv. rata, mada nije potvrđeno da je Tito ikada zaista boravio u njoj). Projektovana je pod uticajem alpskih i tirolskih kuća i smeštena je u okruženje guste borove šume, sa prostranim dvorištem, što je njenim korisnicima omogućilo visok stepen privatnosti. Međutim, u poslednjih nekoliko godina, okruženje ove vile se dramatično promenilo. Šuma je posečena, a na prostranoj parceli, između ove i susednih vila izgrađen je stambeni kompleks sa višespratnim zgradama. Vila je renovirana i pretvorena u restoran, čime je izgubila svoju primarnu funkciju – i od „mirnog planinskog utočišta“ sa visokim stepenom privatnosti, postaje komercijalna skulptura postavljena usred novog stambenog kompleksa. Tako je ova vila izmeštena iz konteksta, a da nije pomerena sa prvobitnog mesta izgradnje.

Iako se kompleks Titova vila reklamira zbog ekskluzivnih apartmana, oni imaju veoma ograničenu površinu (25-62 m^2), a najmanji imaju samo jednokrevetnu sobu. Vizure iz nekih apartmana su usmeren ka vili, međutim, to nije ni približno izgledu iz reklamnog prospekta (sl. 1 i 2), jer pomenute vizure obuhvataju i druge zgrade kompleksa. Što se tiče ostalih vila i kuća u susedstvu, kompleks se proteže na dovoljno velikoj površini da umanjuje atmosferu planinskog pejzaža i za korisnike susednih parcela.



Slika 1. *U promo materijalu kompleks se predstavlja sa premisom luksuznog stanovanja okruženog prirodom. Izvor: Google maps.*



Slika 2. *(gore) Izgled dvorišta pre početka radova. (dole)Savremeni izgled kompleksa sa pozicijom vile. Izvor: Google maps.*

Iako začet još krajem 19. veka i globalno razvijan u prvoj polovini 20. veka, krajem 1980-ih i početkom 1990-ih u tadašnjoj Jugoslaviji zaživeo je trend projektovanja „turističkih naselja“ sa smeštajnim jedinicama u vidu bungalova ili zgrada niske spratnosti (P+1/P+2) sa većim brojem smeštajnih jedinica. Arhitektonskom obradom referencira se lokalna tradicionalna arhitektura a atmosfera „turističkog sela“ postiže seređanjem grupacija zgrada uz uske pristupne ulice, najčešće pešačke, i formiranjem mestimičnih proširenja u vidu trgova, kao centara okupljanja i tematskih fokusnih zona. Prednost u odnosu na hotelski smeštaj predstavlja znatno viši nivo privatnosti za korisnike, koji se postiže prostranijim površinama otvorenih prostora uz smeštajnu jedinicu, i „susedska“ atmosfera inicirana upotrebom tih otvorenih prostora za porodične aktivnosti tokom boravka, najčešće u sezoni praznika i godišnjih odmora.

Kompleks Kraljevi konaci izgrađen je u periodu 1993-2006. pored jezera i u blizini Kraljeve česme, na centralnoj

lokaciji u naselju. Osmišljen je kao ekskluzivni smeštaj za iznajmljivanje, u dvojnim bungalovima [5], za turiste višeg ekonomskog statusa u tadašnjoj socijalističkoj Jugoslaviji. Bungalovi (sl. 3) su minimalne površine prema projektnim standardima i dimenzijama, sa spavaćim sobama smeštenim ispod kosog krova, obično sa krovnim prozorima – projektno rešenje koje ove zgrade čini dovoljno prostranim za udoban boravak, a ne zauzima previše građevinskog zemljišta. Garažna mesta su smeštena između zgrada, imaju dve otvorene strane i služe kao prolaz ka dvorištu. Niskom visinom zgrada, obradom dimnjaka i strmim krovovima vizuelno se referencira planinska arhitektura Zlatiborskih sela. Pored toga, bungalovi imaju privatne tremove na ulaznoj fasadi i deo zelene travnate površine iza zgrada, koji se koristi kao dvorište – polu privatni otvoreni prostor bezbedan za igru dece, naročito zimi na snegu. Arhitektura je usklađena sa standardima i estetikom iz perioda izgradnje ali sa jasnim asocijacijama na vernakularnu arhitekturu [6, 7].



Slika 3. *Dvojni bungalovi. (gore levo) Garažna mesta i pozicija stepeništa razdvajaju prostorije dnevog boravka i doprinose povećanju privatnosti u bungalovima. (gore desno) Ulaz u bungalov, referenca na ulazni trem tradicionalne lokalne arhitekture. (dole) Pogled na zadnju fasadu niza bungalova. Krovovima zgrada referencira se tradicionalna lokalna arhitektura. Visok nivo privatnosti u zadnjim dvorištima iako je zelena površina kontinualna,bez pregrada [4].*

Druga faza razvoja obuhvatala je veći varijetet projektnih rešenja, znatno nižeg kvaliteta primenjenih materijala, ali i u pogledu projektovanja i obrade fasada. Zgrade većih površina projektovane su kao dvojne ili zgrade u nizu, a sadrže dve, tri ili četiri smeštajne jedinice koje se mogu kupiti ili iznajmiti. Zgrade imaju dva nivoa iznad zemlje i još 1/2, u potkrovlju. Jedinice su smeštene po četiri u nizu ili jedna iznad druge, sa privatnim otvorenim prostorima u pročeljima zgrada. Jedinice u prizemlju imaju lođe, dok veće jedinice, koje se protežu na dve etaže, imaju visoke tremove ili pristupne galerije i balkone. Svaka jedinica i dalje ima pristup sa ulice, ali nemaju sve jedinice garažna mesta, neke imaju namenska parking mesta ispred zgrade, ili su parkirana na prilazu. Zelene površine između zgrada imaju pretežno dekorativni karakter, uređene su ali nemaju stvarnu upotrebnu vrednost jer su malih površina pa se retko koriste za sedenje ili igru. Iza zgrada mestimično postoje zelene površine čiji stepen privatnosti varira od zgrade do zgrade, one imaju veću upotrebnu vrednost i mestimično se koriste kao zajednički otvoreni prostori.



Slika 4. *Dvojne zgrade sa većim brojem jedinica, pristup sa nivoa tla, ulaz preko visokog trema. (gore levo) Ulazna fasada jedne od zgrada. (gore desno) Bočna fasada sa dekorativnim zelenilom između zgrada. (dole) Pristup zgradama i parkiranje u delu dvorišta, na prilazu. Izvor: [4].*

Ovaj trend povećanja broja jedinica u jednoj zgradi kulminirao je tokom treće faze izgradnje kada su, umesto još dve dvojne zgrade sa po 6 smeštajnih jedinica, investitori odlučili da izgrade petospratnu stambenu zgradu (sl. 5). Kompleksnim viševodnim kosim krovom sa badžama i elementima u obradi fasade, ova zgrada je donekle estetski povezana sa ostatkom kompleksa. Smeštajne jedinice su građene za tržište i u privatnom su vlasništvu. U ovom trenutku, kvalitet smeštaja/stanovanja u ovim jedinicama je isti kao i u bilo kojoj stambenoj zgradi na Zlatiboru, a jedina prestižna karakteristika zgrade je njena lokacija i vizure iz nekih od apartmana jer nisu prekinute blizinom drugih zgrada, za razliku od većine zgrada u gusto izgrađenim delovima naselja Zlatibor. Međutim, nova višespratnnica nalazi se pored dve, prethodno izgrađene, dvojne zgrade, pa svojim položajem i gabaritom blokira vidike iz njihovih smeštajnih jedinica. Privatni otvoreni prostori svode se na balkone a kao zajednički otvoreni prostor može se koristiti okruženje zgrade, mada je usled njene izgradnje ostao mali broj visokih stabala.

Krošnje visokih stabala i žbunje imaju funkciju dvostruke zaštitne barijere, zvučne i od izduvnih gasova. Trend smanjivanja zelenih površina umanjuje njihov potencijal za upotrebu na različite načine, prema potrebama korisnika, ali i za postizanje ili očuvanje ekološkog komfora (Tabela I). Dodatno, ogoljavanje prostora utiče i na stanare/korisnike susednih zgrada i parcela smanjenjem vizuelnih kvaliteta.



Slika 5. *Zgrada sa apartmanima. (gore levo) Prisutp zgradi, balkoni kao jedini privatni otvoreni prostor. (gore desno) Izgled ulične fasade zgrade sa mestimično sačuvanim visokim stablima u dvorištu. (dole) Pozicija zgrade u jugoistočnom delu kompleksa. Vide se i preostala dva tipa zgrada. Izvor: Google maps.*

4. ZAKLJUČAK

Opredeljenje da se turistički kapaciteti Zlatibora grade sa premisom luksuza, zarad privlačenja imućnih turista, decenijama je davalo željene rezultate. Ipak, u poslednje dve decenije negativno se odražava na ekološku sliku naselja. Seku se visoka stabla i gube zelene površine a na novim zgradama se primenjuje kombinacija materijala koji nisu nužno trajni, prirodni, niti doprinose održivosti zgrada. Nemaju prepoznatljivu arhitektonsku vrednost i jasne asocijacije na tradicionalnu lokalnu arhitekturu.

U vreme kada je pravedna i ekološka tranzicija prioritet na nivou Evropske unije, na lokalnom nivou se urbanizacijom planinskog naselja gubi kvalitet života i boravka na planini, uz istovremeno nametanje narativa luksuza. Nestaju prostrane zelene površine sa autentičnim biodiverzitetom, neophodne za ekološku održivost planinskog naselja. Bezobzirno se degradira kvalitet prirodnog okruženja za stanare susednih zgrada i parcela, a narušavanjem vizura ka zelenilu negira se i princip pravednosti u planiranju prostora. Uz to, napušta se projektantski pristup stvaranja originalnih rešenja zgrada malih visina, inspirisanih vernikularnom arhitekturom, sa arhitektonskim elementima od prirodnih matrijala, čije su forme i fasade u saglasju sa prirodnim okruženjem.

U ovom radu predstavljena su dva primera graditeljskog nasleđa: formiranje prostranih parcela sa izdašnim privatnim zelenim površinama, pod visokim stablima, namenjenih razvijanju turizma (1922), i savremenog turističkog naselja sa jasnom asocijacijom na vernikularnu arhitekturu, funkcionalnim zelenim površinama sa visokim potencijalom, i otvorenim prostorima različitih nivoa privatnosti (1993). U oba slučaja, transformacijama u poslednje dve decenije ekološki i socijalni potencijal je umanjen. Toliko da su kompleks Titova vila i pojedini delovi Kraljevih konaka dovedeni do neprepoznatljivosti inicijalnog opredeljenja.

Tabela I *Aspekti tretmana zelenih površina u kompleksu.*

Aspekti	Turistički kompleks			
	Kraljevi konaci		**Titova vila**	
Period	Prvobitno	Trenutno	Prvobitno	Trenutno
Ekološki – Zaštitno zelenilo ima višestruku ulogu. Dvostruka barijera, zvučna i od izduvnih gasova. Razgranat sistem korenja usporava eroziju.				
Pošumljeno okruženje	☻	-	☻	-
Zaštitno zelenilo	☻	-	☻	-
Zasenčene putanje	☻	-	☻	-
Pravedno – Tretirati sva stambena područja istovetno, omogućiti kvalitetne zelene površine, vizure i privatnost.				
Zelene površine				
Prostrane, biodiverzitet	☻		☻	
Dekorativne	☻	☻		☻
Vizure				
Prirodno okruženje	☻	-	☻	-
Forma/fasade zgrada u saglasju sa okruženjem	☻	-	☻	-
Zgrade blokiraju vizure	Ne	Da	Ne	Da
Vozila i parking prostori	Ne	Da	Ne	Da
Tipologija privatnih otvorenih prostora				
Privatna dvorišta	☻	☻	☻	-
Ulazni tremovi i galerije	☻	☻	☻	-
Balkoni	-	☻	-	☻

LITERATURA

[1] European Commission, *The European Green Deal* (COM 2019 / 614 final. Brussels. 11.12.2019.

[2] Turistička organizacija Zlatibor. Razvoj turizma Web site: https://www.zlatibor.org.rs/sr/o-zlatiboru/istorija-i-kultura/razvoj-turizma/ Pristupljeno septembra 2025.

[3] Skupština opštine Čajetina, *Izmene i dopune Plana generalne regulacije naselja Čajetina (sedište opštine) sa naseljem Zlatibor - prva faza*. 2021, str. 21

[4] Ajdanić, S. Đ. *Zlatibor iz starog albuma*. Zlatibor: Specijalni zavod Zlatibor. 1994.

[5] Turističko naselje Kraljevi konaci. http://kraljevikonaci.rs/ Pristupljeno spetembra 2025.

[6] Findrik, R. *Narodno neimarstvo, stanovanje.* Sirogojno: Muzej na otvorenom Staro selo. 2018.

[7] Kojic, B. *Seoska arhitektura i rurizam.* Beograd: Građevinska knjiga. 1958.

INSTITUCIJA ARHITEKTONSKIH KONKURSA - ZNAČAJNI UTICAJNI FAKTOR U RAZVOJU POSLERATNE STAMBENE VIŠEPORODIČNE ARHITEKTURE NA PROSTORU BIVŠE JUGOSLAVIJE

THE INSTITUTION OF ARCHITECTURAL COMPETITIONS - A SIGNIFICANT INFLUENTIAL FACTOR IN THE DEVELOPMENT OF POST-WAR RESIDENTIAL MULTI-FAMILY ARCHITECTURE IN THE FORMER YUGOSLAVIA

Marjan Petrović

Sadržaj – Nezaobilazan uticajni faktor u postizanju visokog nivoa kvaliteta pri projektovanju i izgradnji objekata stambene višeporodične arhitekture u periodu posleratne, a naročito Kasne (Pozne) Moderne na teritoriji cele Jugoslavije, su bile ustanovljene institucije raspisivanja konkursa za idejna rešenja većih i manjih prostornih celina i objekata, kao i organizovanja raznih naučnih i stručnih kongresa i savetovanja na tada aktuelne teme i probleme u arhitekturi i urbanizmu, a posebno na temu stanovanja. Rezultat održavanja konkursa je imao nekoliko pozitivnih ishodišta. Pored mladih, tada još uvek nedovoljno afirmisanih arhitekata, učestvovao je i veliki broj već afirmisanih i značajnih imena - arhitekata iz cele bivše Jugoslavije, koji su upravo na tim konkursima nudili često nova, tada vrlo inovativna rešenja, naročito na polju rešavanja funkcije i prostorne organizacije stana. Dobrim delom je već analizirani pojam u prethodnom poglavlju „beogradski stan “, nastao kao rezultat kvalitetnih konkursnih rešenja raspisivanih za stambene blokove Novog Beograda, čija rešenja su kasnije razrađivana, modifikovana i prenošena kao iskustvo za potrebe stanogradnje u svim većim gradovima tadašnje Jugoslavije.

Ključne reči: konkurs, Moderna, funkcionalnost, oblikovnost, objekat, forma.

Abstract – An indispensable influential factor in achieving a high level of quality in the design and construction of residential multi-family architecture in the post-war period, and especially in the Late (Late) Modern period throughout Yugoslavia, was the establishment of institutions for announcing contests for conceptual solutions of larger and smaller spatial units and buildings, as well as organizing various scientific and professional congresses and consulting on then-current topics and problems in architecture and urban planning, especially on the topic of housing. The result of holding the competition had several positive origins. In addition to young, then still insufficiently established architects, a large number of already established and significant names participated - architects from all over the former Yugoslavia, who offered new, then very innovative solutions at those competitions, especially in the field of solving the function and spatial organization of the apartment. The term "Belgrade apartment" has already been largely analyzed in the previous chapter, created as a result of quality competitive solutions announced for residential blocks in New Belgrade, whose solutions were later elaborated, modified and transferred as experience for the needs of housing in all major cities of Yugoslavia at the time.

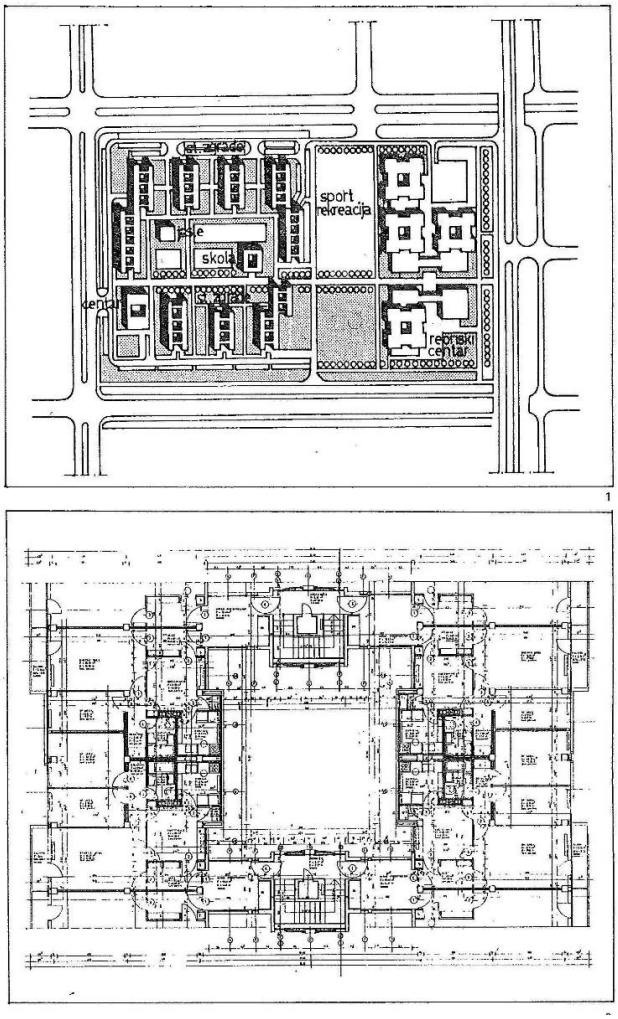
Keywords*: competition, Modern, functionality, design, object, form*.

1. UVOD

O povezanosti konkursnih rešenja i „beogradskog stana“ govori i prof. Darko Marušić u jednom od datih intervjua: “I ono što je još zanimljivo, a to je vreme konkursa na kojima se taj „beogradski stan“ afirmisao. To je serija konkursa kao što su bili novobeogradski. To je vreme može se reći, ipak funkcionalizma, gde je u prvom planu bio objektivno stan. To je vreme stana u stvari. Ili svet stana kako sam oslovio jednu svesku odnosno skrpitu. “ [1].

Pozitivne strane konkursa su i svakako mogućnost odabira najboljih, odnosno „najoptimalnijih“ rešenja od priloženih u datom trenutku, ali i dublju proveru mogućnosti i koje nudi konkursna lokacija. Time se podrazumeva da su neki učesnici u svojim konkursnim rešenjima i analizama neretko svesno odstupali od zadatih konkursnih parametara, kako bi pokazali da zadati konkursni uslovi nekada nisu bili najadekvatnije sagledani i postavljeni. Po prof. Marušiću, tu nije uvek preovlađivala samo ona pragmatična ideja učesnika i kako to uraditi da bi bilo zadovoljavajuće i prihvatljivo. Pojedini učesnici su bili potpuno spremni da predlažu rešenja koja prevazilaze uslove konkursa kako bi svoju ideju zaista saopštili, svesni da nemaju šansu da osvoje neku regularnu i nagradu. Naknadno su uvedeni otkupi van konkurencije, čak i nagrade, gde je neko išao smelo sa idejom koja odstupa od raspisanih pravila, čime je ušao u polemiku sa programom konkursa i pokazao da na zadatoj lokciji ne treba recimo da se pravi soliter. Prof. Marušić zaključuje da na taj način nije mogla nikako da se dobije nagrada za izvođenje jer su tu bili određeni konkretni urbanistički uslovi, ali je konkurs kao institucija omogućavao iskazivanje savremeniih i naprednih ideja koje su bile ispred svog vremena. (Slika 1.)

Marjan Petrović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: marjan.petrovic@akademijanis.edu.rs).



Slika 1. *Konkursni rad za Blok 29 u Novom Beogradu- autori: M.Mitićarh. i M. Čanak arh. (1. nagrada, 1967.god.)*

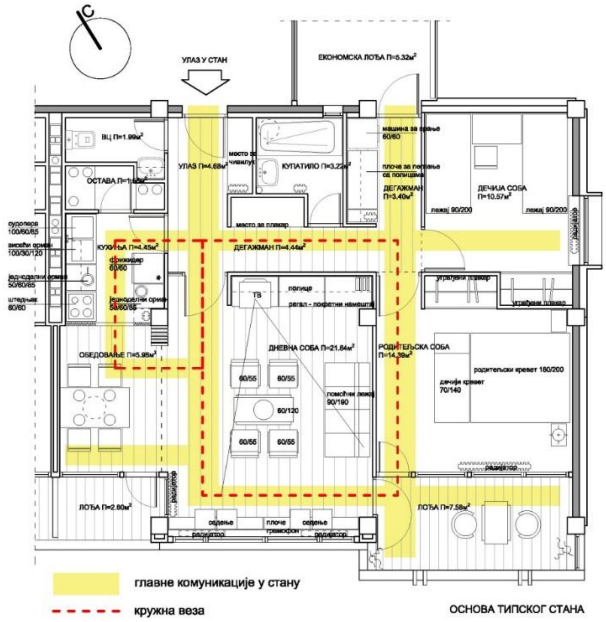
Pojavu "namernog" odstupanja od zadatih konkursnih uslova komantarisao je i Mate Bajlon, gde kao razlog tome navodio „loše" postavljene urbanističke podloge na osnovu kojih su raspisivani konkursi. Hronološkim redom su prikazivani uglavnom veći poduhvati koji su nastali posle oslobođenja. Naglašavao je da su nekima od njih prethodili manji, a nekima opšti javni konkursi. Međtim, gotovo svima prethodile su urbanističke podloge u kojima je bila unapred određivana dispozicija gabarita u prostoru, pa se zadatak projektanata sastojao u tome da što bolje grupiše stanove unutar ovih gabarita i reši njihovu dispoziciju. Neosporno je da takav postupak sadrži brojne nedostatke, jer isključuje kompleksno sagledavanje i rešavanje problema, sputava inicijativu i svodi projektovanje stanova na rutinsko rešavanje koje se umnogome ne razlikuje od onoga između dva rata kad su rešavani stanovi u krutim granicama blokovskih parcela. „U mnoga rešenja unete su značajne humane i arhitektonske vrednosti jer su mnogi projektanti, naročito kada su bili u pitanju konkursi, imali i snage i znanja da prevaziđu jedan deo nametnute im krutosti i ograničenja." [7] Sve navedeno je imalo veliki uticaj na razvoj stana i stanogradnje u posleratnom periodu na prostorima bivše Jugoslavije.

2. BEOGRADSKA ŠKOLA I KONKURSNI STAN

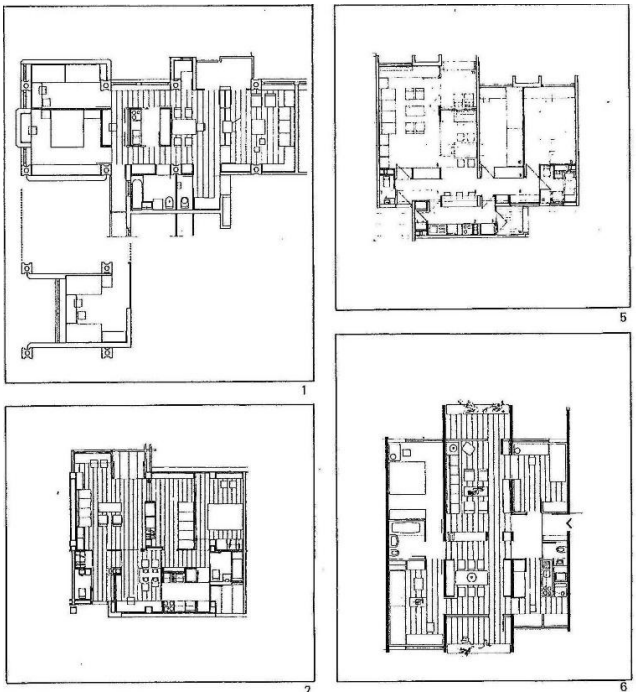
Glavni razlog sprovođenja arhitektonsko-urbanističkih konkursa je primarno bila potreba da se kvalitativno i kvantitativno dostigne najotimalniji mogući nivo standardizacije stambenog prostora. To je bilo moguće jer institucija arhitektonsko urbanističkih konkursa pre svega treba da predstavlja jedinstvenu formu stručnog dijaloga gde su transparentnost i profesionalizacija struke imperativi arhitektonsko urbanističkog delovanja u praksi. Pored standardizacije, kroz konkursne studije i analize razvijaju se i mnogi drugi inovacioni aspekti kao što su nove metodologije projektovanja, nove tipologije i materijali, međusobni uzajamni odnos između projektovanja i tehnologije građenja i mnogi drugi. Naravno da i uloga žirija i kriterijumi evaluacije umnogome utiču na konačan ishod koji će ići u pozitivnom ili negativnom smeru.

Jedan od najvećih benefita konkursnih realizacija jeste svakako razvoj funkcionalne organizacije stambenog prostora, od nivoa stambenog bloka, preko sklopa tipskog sprata do nivoa stana, sa naglaskom na funkcionalnu organizaciju stana. Beogradska škola arhitekture i beogradski, odnosno konkursni stan, se pre svega odnose na tadašnji razvoj funkcionalne organizacije stanova kada su "testirane" inovativne metode koje su podrazumevale sledeće funkcionalne elemente:

- jasnu podelu na dnevnu i noćnu zonu stana,
- kružne veze unutar stana,
- formiranje proširenih komunikacija,
- centri okupljanja u stanu,
- grupisanje sanitarnih blokova, armirano betonskih jezgara i drugo. (Slike 2. i 3.)



Slika 2. *Prikaz ostvarenih načina komunikacija u okviru stana*

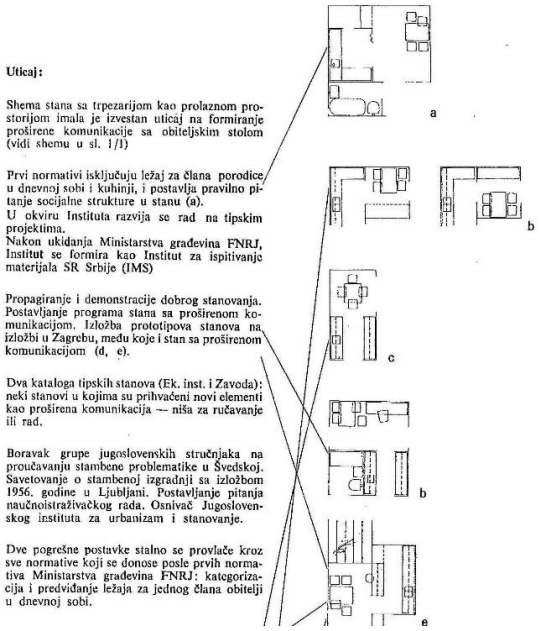


Slika 3. *Prikaz karakterističnih osnova stanova različitih stuktura – razni autori*

3. STANDARDI I NORMATIVI

Zahvaljujući instituciji arhitektonskih i urbanističkih konkursa u velikoj meri ostvareno je i definisanje zakonske regulative vezano za proces projektovanja arhitektonskih (stambenih) objekata, koji je izuzetno važan i nezaobilazan uticajni faktor i koji umnogome doprinosi konačnom kvalitetnom ili manje kvalitetnom ishodu realizovanog objekta. Važnost „definisanog minimalnog standarda, propisa i mera“ ističe i čuveni Le Korbizje u svojim načelima o arhitekturi, da iz arhitekture treba izbaciti sve što još nema vid standarda. Prof. Goran Jovanović sagledava „standarde“ i „regulativu“ kao dve odvojene kategorije i tako ih definiše. Standardi predstavljaju kulturno-ekonomski nivo jednog društva, koji bi trebalo da obezbede kvalitet budućeg objekta na najoptimalniji način kako bi se izbeglo moguće preterivanje na bilo koji način. To podrazumeva da se istovremeno štite korisnici objekta od preterane racionalnosti (manjka kvaliteta), kao i zaštita društva od prekomernog trošenja sredstava. Pod regulativom se podrazumeva „mnoštvo propisa različitog ranga i karaktera, koji uređuju određene oblasti i faze projektovanja i građenja.“ [3] On takođe napominje da su određeni delovi planske regulative višeg ranga pored čestih izmena, uslovljavali između ostalog i sadržaj elemenata idejnog arhitektonskog rešenja, čime su urbanisti unapred definisali arhitektonske karakteristike buduće gradnje, i na taj način sputavali i onemogućavali arhitekte da u skladu sa pravilima struke slobodno razvijaju svoj koncept i pristupaju integralno projektantskom procesu od početka do kraja. To potvrđuje i prof. Marušić kada kaže da su u okviru pojedinih urbanističkih planova detaljne regulacije 60-tih i 70-tih godina često bili definisani gabariti objekata u koje je samo trebalo umetnuti sadržaj (stanove).

Po prof. Milanuu Lojanici [9], normativi za stambene jedinice su vrlo precizni koji definišu širok dijapazon arhitektonskih parametara pri projektovanju stanova: funkcionalne veze između prostorija, minimalne površine prostorija i maksimalne površine stanova, dispoziciju, dimenzije i tehničke uslove vezano za prostorije, fleksibilnost prostora. Pored toga, date su i odredbe o ekonomskim parametrima unutar stanova i stambenih zgrada, spratnost, štednju energije, troškove eksploatacije i ostalo. (Slika 4.)



Slika 4. *Normativni činioci i njihov uticaj na strukturu stana - sheme*

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Na osnovu navedenih analiza i konkursnih primera nastalih u razdoblju jedne epohe koju zovemo Socijalistička Jugoslavija, može se izvesti nekoliko zaključaka. Najpre da su objekti, projektovani i izgrađeni u tom vremenskom periodu nastali kao posledica ogromnog napora i težnje na nivou tadašnje države da se sem velikog izgrađenog fonda u stanogradnji postigne i određeni kvalitet u realizaciji objekata, prvenstveno u strukturiranju funkcionalne organizacije stanova. Da je uticaj Vojske, odnosno tadašnje JNA kao investitora, umnogome doprineo da pomenuti kvalitet prvenstveno u funkcionalnom, a svakako i u oblikovnom smislu, dostigne potrebni nivo. Period posleratne intenzivne stambene izgradnje, kako u Beogradu i ostalim većim i manjim gradovima bivše Jugoslavije tako i u Nišu, mora se posmatrati kroz prizmu samoupravnog socijalizma koji se po [6] *„prvenstveno povezuje sa ostvarenim kvalitetom stanovanja u smislu humanizacije okruženja i funkcionalne organizacije stambenih jedinica. Moderna stambena arhitektura i urbanizam su posmatrani kao reprezentacija društvenih, političkih, ekonomskih, demografskih i kulturnih promena u periodu socijalizma.*“

Takođe, u prilog činjenicama o postignutim normativnim karakteristikama i višeg standarda stambene arhitekture

posleratne Jugoslovenske Moderne zahvaljujući instituciji konkursa, ide i razmatranje [5] koji u svom naučno-istraživačkom radu između ostalog navode: "*Uspostavljanje granica egzistencijalnog minimuma u kolektivnom stanovanju, maksimalno prostorno "pakovanje" i optimalna funkcionalnost stanova, bili su osnovni imperativi unutar kojih je vremenom nastajala težnja ka eksperimentisanju sa novim stambenim obrascima s ciljem iznalaženja pragmaticnijih i humanijih rešenja u okviru masovne stambene izgradnje velikih gustina. ...može da se okarakteriše velik broj razlicitih primera organizacije stana, nastalih u periodu od 1945. do 1991. godine u Jugoslaviji, koji su za polazište imali bar jedan od prikazanih habitoloških koncepata - proširenu komunikaciju, kružnu vezu, centralno sanitarno jezgro ili produžene vizure u vidu enfilada.*"

Nesumnjivo je da jedan takav globalni pokret kao što je Moderna sobom nosi i mnoge objektivne nedostatke na svim nivoima gradnje. Međutim, ako arhitektura treba da odražava stanje duha određenog perioda, političko-ekonomskih uslovnosti, i da predstavlja kulturno-socijalni fenomen koji u sebi sublimira raznovrsnosti određene sredine u kojoj se gradi, onda svakako da niška Moderna u posleratnom periodu zaslužuje pažnju u vidu istraživanja i detaljnijih analiza, jer je nepobitna činjenica da se u to vreme projektovalo i gradilo posvećujući punu pažnju i zajednici i pojedincu, i gradu i stanu.

Nakon perioda Moderne, usledila je devastacija kvaliteta života na svim poljima u društvu na celokupnom prostoru bivše Jugoslavije što se momentalno reflektovalo i na kompletan urbanističko arhitektonski prostor, te je stoga i institucija konkursa u narednom periodu bila potpuno marginalizovana. Rezultat toga je kompletno urušavanje životnog prostora koje ostavlja i neke neizbrisive tragove, čemu i danas svedočimo.

Dobar pokazatelj je da se od druge, a naročito u trećoj deceniji 21. veka na prostorima bivše Jugoslavije, institucija arhitektonskih i urbanističkih konkursa krupnim koracima vraća na pijedestal struke, gde joj je jedino pravo mesto i koje apsolutno zaslužuje.

LITERATURA

[1] Anđelković G., "U duhu kontekstualizma-intervju sa beogradskim arhitektama Darkom Marušićem i Milenijom Marušić", Beograd, 2013, str.11-13

[2] A. Keković, Stambena arhitektura Niša u pokretu Moderna između dva svetska rata, doktorska disertacija, Univerzitet u Nišu: Građevinsko-arhitektonski fakultet, 2008.

[3] G. Jovanović, Istraživanje uzajamnog odnosa organizacije stana i organizacije sklopa tipskog sprata stambenih zgrada, doktorska disertacija, Univerzitet u Nišu: Građevinsko-arhitektonski fakultet, 2007.

[4] M. Petrović M., (2021), Arhitektura višeporodičnog stanovanja niša u periodu moderne od 1945 - 1980., doktorska disertacija, Univerzitet u Nišu: Građevinsko-arhitektonski fakultet, 2021.

[5] Đ. Alfirevic, S. Simonovic Alfirevic, „Socialist Apartment' in Yugoslavia: Paradigm or Tendency?". Spatium (Belgrade), No. 40 (2018), pp. 8-17.

[6] J. Ristić Trajković, D. Stojiljković, V. Međo, "Influence of the socialist ideology on the conception of multi-family housing: new urban landscape and the typological models of housing units", Facta Universitatis (Niš), Architecture and Civil Engineering, Vol. 13, No 2, 2015, pp. 167 – 179

[7] M. Baylon, "Stan u Beogradu", Arhitektonski fakultet, Poslediplomske studije-kurs Stanovanje 1979-1981, Univerzitet u Beogradu, 1980.

[8] D. Milašinović Marić, Srpska arhitektura šeste decenije dvadesetog veka, doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu: Filozofski fakultet, Odeljenje za istoriju umetnosti, 2009.

[9] Lojanica M., „Zapisi sa crtaćeg stola," Arhitektura urbanizam br. 74-77 (1975): 21.

[10] Savez društava arhitekata Srbije, Urbanistički savez Srbije, "Arhitektura i urbanizam 74-77", Beograd: Geokarta, Zavod za kartografiju, 1975.

PREGLED SAVREMENIH PRISTUPA U PREDVIĐANJU POPLAVA KORIŠĆENJEM GIS TEHNOLOGIJE, MAŠINSKOG UČENJA I DALJINSKOG ISTRAŽIVANJA

A REVIEW OF CONTEMPORARY APPROACHES TO FLOOD PREDICTION USING GIS TECHNOLOGY, MACHINE LEARNING AND REMOTE SENSING

Jelica Protić, Milan Protić i Dušan Kocić

Sadržaj – Poplave su među najčešćim i najrazornijim prirodnim katastrofama, sa ozbiljnim posledicama po ljudske živote, infrastrukturu i ekonomiju. Razvoj savremenih tehnologija omogućio je značajan napredak u metodama predviđanja poplava, posebno kroz primenu geografskih informacionih sistema (GIS), mašinskog učenja (ML) i daljinskog istraživanja (RS). Ovaj rad daje pregled aktuelnih studija koje obrađuju navedene pristupe i analizira njihove mogućnosti i ograničenja. Integracija GIS analiza sa algoritmima mašinskog učenja i satelitskim ili dronskim podacima značajno unapređuje tačnost prognoza, omogućava detaljnije mapiranje poplavnih zona i poboljšava kvalitet donošenja odluka u upravljanju rizikom od poplava. Analiza literature ukazuje da se ključni izazovi odnose na heterogenost ulaznih podataka, potrebu za visokom računarskom snagom, ograničenu dostupnost serija visoke rezolucije i nedovoljnu standardizaciju procedura. Uprkos tome, trendovi pokazuju da dalji razvoj sistema za predviđanje poplava zavisi od integrisanog pristupa, jačanja saradnje institucija i unapređenja otvorenih baza podataka. Takva kombinacija omogućava pouzdanije modele, brže reagovanje tokom ekstremnih događaja i efikasnije planiranje mera zaštite.

Ključne reči: poplave, GIS, mašinsko učenje, daljinsko istraživanje, predikcija rizika od poplava.

Abstract – Floods are among the most frequent and destructive natural disasters, causing severe impacts on human lives, infrastructure, and the economy. Advances in modern technologies have enabled significant progress in flood prediction methods, particularly through the use of Geographic Information Systems (GIS), Machine Learning (ML), and Remote Sensing (RS). This paper provides an overview of recent studies that apply these approaches and examines their capabilities and limitations. The integration of GIS analyses with machine learning algorithms and satellite or drone data substantially improves prediction accuracy, enables more detailed flood-zone mapping, and enhances decision-making in flood risk management. A review of the literature indicates that the main challenges involve the heterogeneity of input data, the need for high computational power, limited availability of high-resolution data series, and insufficient standardization of procedures. Despite these issues, current trends show that the further development of flood-prediction systems depends on an integrated approach, strengthened institutional collaboration, and the improvement of open data platforms. Such a combination supports the creation of more reliable models, faster response during extreme events, and more effective planning of protective measures.

Keywords: floods, GIS, machine learning, remote sensing, flood risk prediction.

1. UVOD

Poplave su jedna od najčešćih prirodnih katastrofa i čine više od trećine svih prirodnih nepogoda. Njihova učestalost i intenzitet rastu usled klimatskih promena, urbanizacije i degradacije životne sredine. Posledice uključuju ljudske žrtve, ekonomske gubitke, poremećaje u funkcionisanju zajednica i oštećenje infrastrukture. U poslednjih nekoliko decenija, rast broja ekstremnih padavina i neadekvatna infrastruktura u mnogim državama dodatno povećavaju ranjivost stanovništva.

Tradicionalne metode prognoze poplava oslanjale su se na hidrometeorološka merenja i numeričke modele. Iako su one dale značajne rezultate u prošlosti, njihova ograničena prostorna rezolucija i složenost u integraciji različitih izvora podataka često dovode do nedovoljno preciznih prognoza.

Jelica Protić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: jelica.protic@akademijanis.edu.rs).

Milan Protić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milan.protic@akademijanis.edu.rs).

Dušan Kocić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: dusan.kocic@akademijanis.edu.rs).

Savremeni pristupi uključuju korišćenje GIS tehnologije, algoritama mašinskog učenja i daljinskog istraživanja, koji omogućavaju integraciju heterogenih podataka (satelitske slike, meteorološke serije, topografija, korišćenje zemljišta) i njihovu obradu u realnom vremenu. Ovi alati pružaju veću fleksibilnost, prostornu tačnost i mogućnost predikcija zasnovanih na velikim bazama podataka. Cilj ovog rada je da prikaže savremene trendove i metodološke okvire u predviđanju poplava na osnovu pet relevantnih radova objavljenih u periodu 2022–2025. Poseban akcenat stavljen je na integraciju GIS tehnologije, mašinskog učenja i daljinskog istraživanja.

2. TRADICIONALNI PRISTUPI U PREDVIĐANJU POPLAVA

Tradicionalni pristupi u predviđanju poplava zasnivaju se na hidrometeorološkim modelima i numeričkim simulacijama. Iako su i dalje široko primenjivani, ovi modeli imaju ograničenja u pogledu prostorne rezolucije, obrade podataka i brzine reagovanja tokom vanrednih situacija. Hidrometeorološki modeli kombinuju podatke o padavinama, temperaturi, zasićenosti zemljišta i proticaju kako bi procenili verovatnoću poplavnih događaja. Modeli poput HEC-HMS ili

HBV zasnivaju se na dobro definisanim fizičkim procesima, što ih čini pouzdanim u standardnim uslovima. Međutim, njihova tačnost zavisi od dostupnosti kvalitetnih ulaznih podataka i pretpostavke da su hidrološki procesi prostorno i vremenski ujednačeni, što je retko slučaj u realnim, brzo promenljivim okruženjima. Numeričke simulacije dodatno razvijaju ove pristupe omogućavajući modelovanje kretanja i širenja poplavnog talasa kroz matematičke jednačine. One se oslanjaju na digitalne modele terena i hidrauličke parametre kako bi prikazale potencijalne scenarije plavljenja. Ipak, zbog zahteva za visokom računarskom snagom, njihova primena u realnom vremenu često je ograničena, posebno u situacijama kada treba doneti brze odluke.

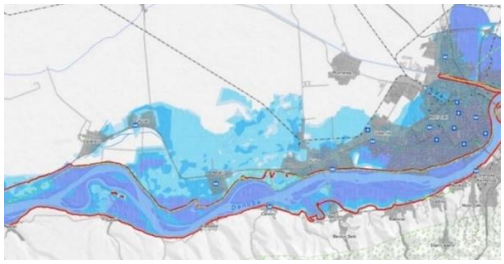
Iako i dalje čine važan deo sistema zaštite, tradicionalni modeli sve češće zahtevaju dopunu savremenim tehnologijama kako bi se poboljšala preciznost i operativna primena.

3. GIS U PREDVIĐANJU POPLAVA

Geografski informacioni sistemi (GIS) igraju ključnu ulogu u savremenom predviđanju poplava zahvaljujući mogućnosti da integrišu različite vrste prostornih podataka i omoguće detaljnu prostornu analizu. Njihova primena značajno unapređuje razumevanje poplavnih procesa i podržava donošenje odluka na lokalnom i regionalnom nivou.

Jedna od osnovnih funkcija GIS-a jeste mapiranje zona ugroženosti. Korišćenjem digitalnih modela terena, istorijskih podataka o poplavama, meteoroloških informacija i podataka o korišćenju zemljišta, GIS omogućava izradu karata koje prikazuju nivo rizika po oblastima. Ove karte predstavljaju osnovu za planiranje mera zaštite, identifikaciju rizičnih tačaka i upravljanje prostorom u područjima sklonim plavljenju.

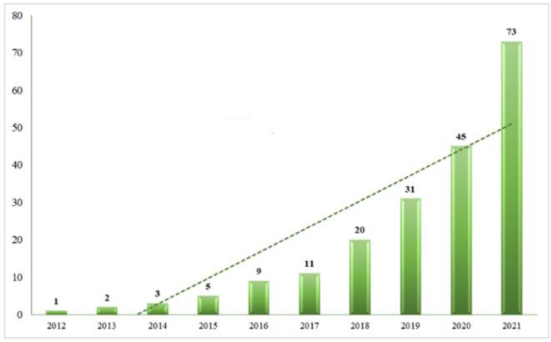
Prostorna vizualizacija, kroz interaktivne mape i 3D prikaze, čini GIS važnim alatom u donošenju odluka. Vizuelni modeli olakšavaju komunikaciju među stručnjacima i podržavaju planiranje evakuacija, raspoređivanje resursa i sprovođenje preventivnih mera. Na slici 1. prikazana je karta rizika od poplava na reci Dunav u Srbiji.



Slika 1. *Karta rizika od poplava na reci Dunav u Srbiji*

Velika prednost GIS-a jeste integracija različitih izvora podataka. Sistem može da objedini satelitske snimke, LiDAR modele, hidrotehničke objekte, demografske podatke i informacije o infrastrukturi, čime omogućava sveobuhvatnu procenu faktora koji utiču na poplavni rizik. Ovakva integracija posebno je korisna u oblastima gde ljudske aktivnosti, poput urbanizacije i regulacije rečnog toka, dodatno povećavaju opasnost od poplava.

U radu [1] napravljen je pregled 200 studija o mapiranju poplava korišćenjem GIS tehnologije. Najčešće korišćeni faktori su nagib (98%), nadmorska visina (92%), korišćenje zemljišta (79,5%), udaljenost od reke (76,5%) i padavine (73%). Analiza ovih studija pokazuje da kombinacija prirodnih faktora (topografija, padavine) i antropogenih faktora (urbanizacija, promena namene zemljišta) daje najbolje rezultate u identifikaciji ugroženih zona. Studija naglašava da broj objavljenih radova u ovoj oblasti raste od 2012. godine (slika 2.), što ukazuje na globalno prepoznavanje važnosti GIS-a u istraživanjima poplava



Slika 2. *Broj radova iz oblasti mapiranja rizika od poplava od 2012. do 2021. godine koji koriste GIS alate*

Studija [2] demonstrira kako GIS u kombinaciji sa visokorezolucionim satelitskim snimcima omogućava izradu složenih karata rizika koje su značajne za planiranje i donošenje odluka. Primena vegetacionih indeksa i podataka o protoku vode omogućila je identifikaciju različitih nivoa rizika. GIS je poslužio kao moćan alat za preklapanje slojeva podataka i donošenje odluka u realnom vremenu.

4. PRIMENA MAŠINSKOG UČENJA U PREDVIĐANJU POPLAVA

Primena mašinskog učenja (ML) omogućila je znatno preciznije i brže prognoze poplavnih događaja. Algoritmi kao što su K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF) i XGBoost pokazali su posebno dobre rezultate u modeliranju kompleksnih odnosa između padavina, proticaja, nagiba terena i drugih faktora rizika. U mnogim studijama ovi modeli postižu preciznost od 85–90% ili više, što ih svrstava među najpouzdanije pristupe savremenog predviđanja poplava. Njihova glavna prednost leži u sposobnosti učenja obrazaca iz velikih i heterogenih skupova podataka, čime se otkrivaju suptilne veze koje tradicionalni modeli često ne prepoznaju. Integracija ML algoritama sa GIS platformama dodatno proširuje mogućnosti analize, omogućavajući prostorno eksplicitna predviđanja i generisanje detaljnih mapa.

U radu [3] je razvijen model za predviđanje poplava u Indoneziji koristeći algoritme KNN, Decision Tree i Naïve Bayes, pri čemu je KNN dao najveću tačnost (88,9%). Model je integrisan sa GIS veb platformom, čime je omogućeno vizuelno praćenje rizika od poplava. Ovaj pristup pokazuje kako čak i relativno jednostavni algoritmi poput KNN-a mogu dati pouzdane rezultate kada su pravilno podešeni i kada se koriste relevantni parametri, poput padavina i vlažnosti tla.

U radu [4] je analizirana primena ML algoritama u SAD-u (SVM, RF, XGBoost, KNN, AdaBoost). Random Forest i XGBoost postigli su najvišu preciznost u predviđanju poplava, naročito kada su kombinovani sa GIS i RS podacima. Njihovo istraživanje obuhvatilo je 13 ključnih prediktora uključujući nagib, akumulaciju protoka, evapotranspiraciju i hidrologiju zemljišta. Pokazalo se da ensemble metode imaju prednost jer kombinuju više slabijih modela u jedan robusniji sistem.

5. PRIMENA DALJINSKOG ISTRAŽIVANJA U PREDVIĐANJU POPLAVA

Daljinsko istraživanje (RS) predstavlja ključnu tehnologiju u savremenom predviđanju poplava zahvaljujući velikoj prostornoj pokrivenosti i mogućnosti prikupljanja podataka u gotovo realnom vremenu. Satelitski i avionski snimci, kao i podaci dobijeni dronovima, omogućavaju praćenje padavina, vlažnosti zemljišta, promene vodostaja i širenje plavnih površina. Ove informacije značajno doprinose poboljšanju GIS analiza i povećavaju tačnost modela mašinskog učenja. Integracijom RS podataka sa terenskim merenjima dobija se sveobuhvatan uvid u dinamiku poplavnih procesa, što unapređuje planiranje i upravljanje rizikom.

7. INTEGRACIJA GIS + ML + RS

Integracija GIS, ML i RS predstavlja najnapredniji pristup savremenom predviđanju poplava. Kombinovanjem prostornih podataka, satelitskih i dronskih snimaka sa moćnim algoritmima za analizu obrazaca, moguće je formirati sisteme koji pružaju izuzetno precizne i pravovremene informacije o riziku od poplava. Ovaj integrisani okvir omogućava razvoj veb-platformi i mobilnih aplikacija koje korisnicima – od stručnjaka do stanovništva – pružaju real-time prognoze, upozorenja i vizualizaciju kritičnih zona.

Podaci prikupljeni RS tehnologijama obogaćuju GIS baze i istovremeno služe kao ulaz za ML modele, čime se značajno unapređuje tačnost predviđanja. Mašinsko učenje identifikuje obrasce u padavinama, vodostajima i promenama na terenu, dok GIS omogućava prostornu interpretaciju tih rezultata i njihovu primenu na terenu. Real-time integracija podataka omogućava brzu procenu situacije tokom ekstremnih događaja, što je ključno za hitne službe i krizno upravljanje.

U radu [5] autori su dali sveobuhvatan pregled više od 1100 radova i izdvojili četiri kategorije alata: mašinsko učenje, numerički modeli, probabilistički modeli i hibridni pristupi. Poseban naglasak dat je na GIS i RS. Pregled je pokazao da je broj publikacija u poslednjih pet godina naglo porastao, što potvrđuje rast interesovanja globalne naučne zajednice. Autori ističu da je integracija cloud computing tehnologija sa GIS i RS sistemima sledeći korak u razvoju, jer omogućava analizu ogromnih datasetova u realnom vremenu.

6. IZAZOVI I OGRANIČENJA

Uprkos značajnom napretku u predviđanju poplava, savremeni sistemi i dalje se suočavaju sa brojnim izazovima i ograničenjima. Jedan od najvećih problema jeste heterogenost podataka, budući da se informacije prikupljene različitim metodama – od satelitskih snimaka do terenskih merenja – često razlikuju po formatu, rezoluciji i kvalitetu. Ovakva neujednačenost otežava integraciju podataka u GIS, ML i RS modele i može dovesti do smanjene tačnosti prognoza.

Dodatni izazov predstavlja nedostatak otvorenih i standardizovanih baza podataka. U mnogim regionima pristup hidrološkim i meteorološkim informacijama je ograničen, što otežava izradu pouzdanih modela i međusobno poređenje rezultata. Visoki računski zahtevi, posebno kod kompleksnih ML modela i visokorezolucijskih satelitskih snimaka, dodatno ograničavaju mogućnosti institucija koje nemaju naprednu računarsku infrastrukturu. Zbog svega navedenog, neophodna je jača međunarodna saradnja, kako bi se obezbedila razmena podataka, usaglašavanje metodologija i razvoj zajedničkih platformi koje omogućavaju pouzdanije i globalno primenljive sisteme predviđanja poplava.

8. ZAKLJUČAK

Savremeni trendovi u predviđanju poplava jasno ukazuju da je GIS, ML i RS ključ budućnosti u ovoj oblasti. Kombinovanjem prostornih analiza, algoritama za učenje obrazaca i satelitskih ili dronskih podataka moguće je ostvariti preciznije prognoze i omogućiti brže reagovanje tokom ekstremnih hidrometeoroloških događaja. Takvi sistemi ne samo da unapređuju operativno upravljanje rizikom, već i jačaju otpornost zajednica izloženih poplavama, omogućavajući planiranje infrastrukturnih mera, evakuacionih ruta i preventivnih aktivnosti. Povećanje dostupnosti otvorenih podataka, intenziviranje međunarodne saradnje i standardizacija metodologija i formata podataka predstavljaju prioritet za razvoj pouzdanih globalnih sistema predviđanja. Ulaganjem u interoperabilne platforme, real-time monitoring i kombinovane modele GIS + ML + RS, moguće je smanjiti posledice poplava i podržati održivo urbano planiranje i zaštitu životne sredine.

LITERATURA

[1] S. Lee and F. Rezaie, “Data used for GIS-based Flood Susceptibility Mapping”, Data of Geology, Ecology, Oceanography, Space Science and Polar Science [4.1] 1-15 (2022).

[2] B. M. Salah, H. Laouini, “Flood risk mapping using artificial intelligence application to the east Algerian region”, Studies in engineering and exact sciences, December 2024.

[3] M. R. P. Putra, R. Ashari, Muhirin, A. W. Z. Imam, Kusrini 5, “Flood Prediction Using Machine Learning Model Integrated with Geographical Information System”, Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika, Vol. 10 No. 2 | February 2025.

[4] K. T. Antwi-Agyakwa, M. K. Afenyo, D. B. Angnuureng,

[5] “KnowtoPredict, Forecast to Warn: A Review of Flood Risk Prediction Tools”, Water 2023.

[6] P. A. Gyang, O. Akomolafe, B. Panful. I. A. Yowetu, “A review of integrated use of machine learning algorithms, GIS and remote sensing techniques in the prediction of rainfall patterns and floods in the U.S.”, World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences, 2025.

INOVATIVNI PRISTUP UNAPREĐENJU MODELA ODRŽAVANJA PREDTURBINSKOG KUGLASTOG ZATVARAČA

INNOVATIVE APPROACH TO IMPROVING THE MAINTENANCE MODEL OF A PRETURBINE SPHERICAL VALVE

Biljana Milutinović, Goran Mišić, Milan Nikolić

Sadržaj – U radu hidroelektrana hidraulički sistemi omogućavaju preciznu regulaciju protoka vode i pouzdano upravljanje turbinskim agregatima. Posebno je značajan predturbinski kuglasti zatvarač, koji ima dvostruku funkciju – zapornu i sigurnosnu. Održavanje ovakvih sistema predstavlja složen proces usled zahteva za visok nivo pouzdanosti, produžen radni vek i minimizaciju zastoja. U praksi održavanja hidrauličkih sistema u hidroelektranama i dalje dominiraju tradicionalni pristupi održavanja zasnovani na kombinaciji preventivnih i korektivnih metoda. Cilj ovog rada je razvoj unapređene modela održavanja hidrauličkog sistema predturbinskog zatvarača kroz primenu savremenih tehnologija i dijagnostičkih alata. Fokus je na uvođenju novih metoda za predviđanje i prevenciju kvarova, optimizaciju resursa i smanjenje troškova održavanja. Funkcionalno, predloženi sistem se može podeliti na tri sloja. Fizički, odnosno „edge" sloj, obuhvata senzore i IoT jedinice zadužene za detekciju i prenos podataka. Digitalna platforma uključuje SCADA sistem za nadzor i upravljanje, CMMS softver za evidenciju i organizaciju aktivnosti, kao i opciono AI module za naprednu analitiku i predikciju kvarova. Operativni sloj čini osoblje za održavanje koje sprovodi intervencije, ažurira podatke i šalje povratne informacije. Primena unapređenog modela održavanja donela je merljive rezultate i značajno unapredila ukupne performanse hidrauličkog sistema predturbinskog zatvarača. Operativna dostupnost sistema rezultirala je povećanjem proizvodnje od 7%, dok je vreme trajanja zastoja, koje je ranije predstavljalo značajan problem, smanjeno za 23%, zahvaljujući ranom otkrivanju kvarova i pravovremenom rešavanju problema.

Ključne reči: Prediktivno održavanje, hidroelektrane, hidraulički sistemi, predturbinski kuglasti zatvarač.

Abstract – In the operation of hydroelectric power plants, hydraulic systems enable precise regulation of water flow and reliable management of turbine aggregates. Especially important is the pre-turbine spherical shutter, which has a double function - locking and safety. Maintenance of such systems is a complex process due to the need for a high level of reliability, extended service life and minimization of downtime. In the practice of maintaining hydraulic systems in hydropower plants, traditional approaches based on a combination of preventive and corrective methods still dominate. The goal of this work is the development of an improved maintenance model of the pre-turbine valve hydraulic system through the application of modern technologies and diagnostic tools. The focus is on introducing new methods for predicting and preventing failures, optimizing resources and reducing maintenance costs. Functionally, the proposed system can be divided into three layers. The physical, or "edge" layer, includes sensors and IoT units responsible for data detection and transmission. The digital platform includes a SCADA system for monitoring and management, CMMS software for recording and organizing activities, as well as optional AI modules for advanced analytics and fault prediction. The operational layer consists of maintenance personnel who carry out interventions, update data and close the feedback loop of information. The improvement of the maintenance model brought measurable results and significantly improved the overall performance of the pre-turbine valve hydraulic system. The operational availability of the system resulted in a 7% increase in production, while downtime, which was previously a significant problem, was reduced by 23%, thanks to early detection of faults and timely resolution of problems.

Keywords: Predictive maintenance, hydropower plants, hydraulic systems, pre-turbine spherical valve.

1. UVOD

Hidraulički sistemi predstavljaju fundamentalne sisteme u radu hidroelektrana, jer omogućavaju preciznu regulaciju protoka vode i pouzdano upravljanje turbinskim agregatima. Hidrauličke sisteme u hidroelektranama, čine komponente: pumpe, ventili, cilindri, kao i zatvarači, čija je osnovna funkcija regulacija protoka vode prema turbinama i obezbeđenje sigurnog rada elektroenergetskog postrojenja.

Biljana Milutinović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: biljana.milutinovic@akademijanis.edu.rs).

Goran Mišić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: pit0923@atvssnis.edu.rs).

Milan Nikolić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milan.nikolic@akademijanis.edu.rs).

Posebno značajnu ulogu imaju predturbinski kuglasti zatvarači, koji omogućavaju kontrolisano isključenje turbine iz pogona i štite sistem od hidrauličkog udara i preopterećenja. Predturbinski kuglasti zatvarač ispred turbine projektovan je za otvaranje pri izjednačenom pritisku, zatvaranje pod normalnim uslovima kada je zatvoren sprovodni aparat turbine, kao i za brzo zatvaranje u hitnim situacijama pri punom protoku vode kroz turbinu [1]. Hidraulički sistem koji upravlja radom predturbinskog zatvarača predstavlja kompleksnu celinu čije funkcionalnosti omogućavaju pouzdano otvaranje i zatvaranje zatvarača u skladu sa režimima rada hidroelektrane.

Pouzdanost i efikasnost u radu predturbinskog zatvarača uslovljena je nizom međusobno povezanih faktora, koji direktno utiču na stabilnost rada i dužinu eksploatacije sistema. Ukoliko se ovi faktori zanemare ili ne kontrolišu adekvatno, dolazi do povećane učestalosti kvarova, smanjenja životnog

veka komponenti i potrebe za češćim održavanjem. Jedan od ključnih činilaca jeste kvalitet i čistoća hidrauličnog ulja, koje ima ulogu prenosa energije i podmazivanja unutar sistema. Svako prisustvo nečistoća, poput metalnih čestica, prašine ili vode, dovodi do povećanog habanja, korozije unutrašnjih površina i začepljenja osetljivih elemenata kao što su ventili. Redovno filtriranje, praćenje stanja ulja i preventivna zamena su od presudne važnosti, s obzirom da kontaminirano ulje predstavlja jedan od najučestalijih uzroka otkaza komponenata u hidrauličkim sistemima [2].



Slika 1 *Predturbinski kuglasti zatvarač Φ 1200 mm*

Podjednako značajnu ulogu imaju i ventili i regulatori, čija funkcija je da precizno kontrolišu pravac i pritisak fluida. Svaka nepravilnost u njihovom radu, bilo da je u pitanju mehaničko blokiranje, curenje ili pogrešno podešeni radni parametri, može prouzrokovati kašnjenje u odzivu sistema i narušiti preciznost izvršnih mehanizama. Održavanje ovih komponenti podrazumeva redovne provere funkcionalnosti, zaptivanja i odziva, čime se osigurava njihova pouzdanost i operativna dostupnost [3].

Radni pritisak i temperatura predstavljaju osnovne parametre koji moraju ostati unutar propisanih granica. Prekoračenje dozvoljenih vrednosti vodi ka pojavi kavitacije, ubrzanom starenju zaptivki, termičkoj degradaciji tečnosti i mogućim mehaničkim oštećenjima. Kontinuirani monitoring omogućava pravovremeno reagovanje na promene u radnim uslovima i sprečavanje ozbiljnijih havarija.

U ovom radu predstavljen je unapređen model održavanja predturbinskog kuglastog zatvarača primenom savremenih tehnologija i dijagnostičkih alata. Fokus je na uvođenju novih metoda za predviđanje i prevenciju kvarova, optimizaciju resursa i smanjenje troškova održavanja. Posebna pažnja posvećena je analizi postojećeg stanja, identifikaciji kritičnih tačaka i implementaciji konstruktivnog poboljšanja, ugradnji aktuatora u mehanizam zatvarača, čime je otklonjena tehnička neispravnost i povećana pouzdanost sistema.

2. ANALIZA POSTOJEĆE STRATEGIJE ODRŽAVANJA PREDTURBINSKOG KUGLASTOG ZATVARAČA

Analiza postojećeg sistema održavanja hidrauličkog sistema predturbinskog zatvarača izvršena je u okviru Vlasinskih hidroelektrana. Na teritoriji sistema nalazi se deset jedinica, od kojih svaka ima ključnu ulogu u bezbednom i efikasnom radu predturbinskog kuglastog zatvarača.

Analizom postojećeg sistema održavanja identifikovan je čitav niz tehničkih, organizacionih i sistemskih problema koji značajno utiču na pouzdanost i efikasnost rada hidrauličkog sklopa predturbinskog zatvarača. Tehnički aspekti problema odnose se na curenje radnog fluida, što je najčešće uzrokovano habanjem zaptivki i mehaničkih spojeva. Istovremeno, uočava se pad pritiska usled neadekvatnog održavanja sistema, dok su česti zastoji posledica otkaza elektrohidrauličnih aktuatora i ventila. Dodatno zabrinjavaju neispravnosti u radu kuglastog zatvarača, koje mogu direktno ugroziti sigurnost celokupnog postrojenja.

Strategija održavanja pokazuje ozbiljna ograničenja u svojoj organizaciji i primeni. Umesto da se oslanja na proaktivan pristup, sistem funkcioniše dominantno reaktivno, bez unapred definisanih kriterijuma za određivanje prioriteta tehničkih intervencija. Nedostatak automatizovane dijagnostike i upotreba zastarelih alata i metoda održavanja dodatno ograničavaju sposobnost blagovremenog reagovanja i produžavaju vreme zastoja.

Na nivou dijagnostike i monitoringa, uočen je niz problema koji ukazuju na nizak nivo tehničke opremljenosti. Upotreba senzora za praćenje rada sistema je ograničena, a ne postoji sistem automatskog generisanja alarma u slučaju odstupanja od radnih parametara. Digitalizacija je slabo zastupljena, pa se podaci i dalje vode u papirnim evidencijama, što dodatno otežava pristup informacijama i smanjuje mogućnost sistemske analize.

Organizacioni i ekonomski aspekti dodatno komplikuju situaciju. Osoblje najčešće nije adekvatno obučeno za primenu novih tehnologija održavanja, što smanjuje fleksibilnost sistema. Zbog nepostojanja sinhronizacije između sektora operative i održavanja, često dolazi do nesporazuma u planiranju i realizaciji zadataka, dok visoki troškovi zastoja i vanrednih intervencija dodatno opterećuju budžet održavanja.

3. PREDLOG UNAPREĐENJA MODELA ODRŽAVANJA PREDTURBINSKOG KUGLASTOG ZATVARAČA

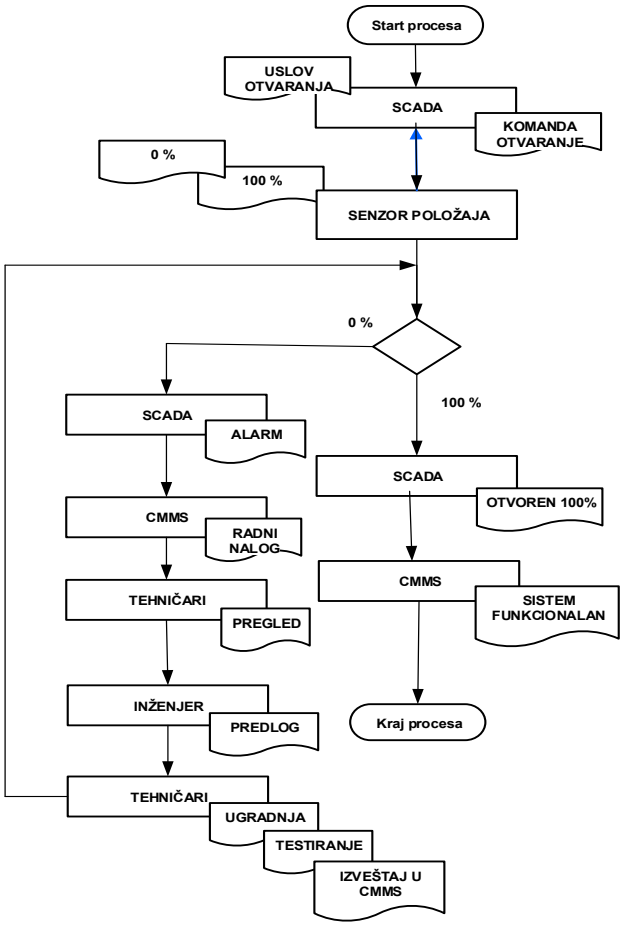
Digitalna transformacija u oblasti održavanja otvorila je prostor za prelazak sa tradicionalnih, manuelnih metoda ka naprednim, centralizovanim i inteligentnim rešenjima. Uvođenje savremenih softverskih alata omogućuje potpunu digitalizaciju procesa praćenja tehničkih sistema, što dovodi do povećane transparentnosti, bržeg donošenja odluka i preciznijeg planiranja resursa.

Savremeni pristupi upravljanju održavanjem u energetskim postrojenjima zasnivaju se na konceptima koji omogućavaju veću tehničku raspoloživost, manju učestalost kvarova i

optimizaciju troškova kroz racionalnu upotrebu resursa. Među tim pristupima posebno se izdvaja prediktivno održavanje, koje se u savremenim sistemima najčešće implementira kroz režim održavanja zasnovanog na stanju opreme - Condition-Based Maintenance (CBM) [4, 5].

Unapređeni model održavanja hidrauličkog sistema predturbinskog zatvarača predviđa uvođenje i integraciju tehnologija poput Interneta stvari (IoT) senzora, SCADA sistema i CMMS softverskih rešenja koji omogućavaju stvaranje inteligentnog sistema održavanja. Njigova funkcija identifikacija i neprekidna razmena informacija između fizičkog sistema, digitalne platforme i operativnog kadra, što čini osnovu za donošenje pravovremenih i preciznih odluka.

Proces otklanjanja kvara kuglastog zatvarača, u ovakvom integrisanom okruženju započinje detekcijom fizičke anomalije putem senzora. Parametri poput pritiska, vibracija ili položaja aktuatora kontinuirano se mere i u slučaju odstupanja, informacije se automatski prosleđuju SCADA sistemu putem IoT uređaja. SCADA omogućava vizuelizaciju prikupljenih podataka, generisanje alarma i praćenje trendova, čime operateri u realnom vremenu dobijaju uvid u stanje sistema. Na osnovu tog uvida, pokreće se odgovarajuća reakcija ručno ili automatski, kroz CMMS sistem koji generiše radni nalog, proverava dostupnost potrebnih resursa i raspoređuje zadatke nadležnom tehničaru [6, 7].



Slika 2 *Algoritam detekcije i upravljanja kvarom*

Predloženi model može se funkcionalno podeliti na tri sloja. Fizički, odnosno „edge“ sloj obuhvata senzore koji detektuju promene parametara poput pritiska, temperature, protoka ili vibracija i IoT jedinice koje prenose podatke ka SCADA sistemu. Digitalna platforma se sastoji od SCADA sistema za nadzor i upravljanje koja vrši prikaz trendova, detekciju anomalija i alarmiranje, CMMS softvera za evidenciju i organizaciju aktivnosti (organizuje radne naloge, raspodeljuje resurse i omogućava potpunu evidenciju izvršenih radova) i opcionih AI modula koji omogućavaju naprednu analitiku i predikciju kvarova. Operativni sloj uključuje osoblje za održavanje koje sprovodi intervencije, ažurira podatke i šalje povratne informacije. Ova arhitektura omogućava modularnu implementaciju - uvođenje CMMS-a kao osnove, dok se ostale komponente mogu sukcesivno dodavati u skladu sa tehničkim i finansijskim kapacitetima.

Tabela I *Uloga sistema u procesu održavanja*

KOMPONENTE	ULOGA U PROCESU ODRŽAVANJA
Senzor	Detekcija promena parametara
IoT uređaj	Slanje podataka u mrežu u realnom vremenu
SCADA	Prikaz anomalija, trendova i istorije; alarmiranje operatera
CMMS	Upravljanje radnim nalozima, raspodela zadataka i zaliha
AI (opciono)	Učenje iz istorije, predikcija i optimizacija
Osoblje	Izvršavanje naloga i unos podataka nakon završene intervencije

Prikupljeni podaci automatski se prosleđuju softveru za analitiku, koji u realnom vremenu primenjuje algoritme za procenu rizika i predikciju otkaza komponenti. Ovaj pristup omogućava operaterima planiranje tehničkih intervencija unapred, uz smanjenje potrebe za hitnim popravkama i maksimalno iskorišćenje raspoloživih resursa. Pored toga, SCADA sistem je nadograđen dodatnim signalima, što omogućava detaljnije praćenje stanja hidrauličkog sistema, automatsko alarmiranje pri prekoračenju kritičnih vrednosti i neposredno reagovanje bez potrebe za fizičkim proverama u svakoj situaciji.

U okviru digitalizacije procesa održavanja, uvedeni su softverski alati za upravljanje intervencijama, resursima i dokumentacijom. Celokupna istorija kvarova i aktivnosti sada je dostupna u elektronskom obliku, što poboljšava koordinaciju timova, ubrzava donošenje odluka i omogućava efikasnije upravljanje radnim vremenom tehničkog osoblja. Automatizovani sistem planiranja i evidencije smanjuje mogućnost grešaka, dok obuka zaposlenih za rad sa novim tehnologijama doprinosi njihovoj bržoj adaptaciji i samostalnijem radu.

Posebna vrednost sistema ogleda se u dvosmernim tokovima informacija. Podaci ne teku samo od senzora ka digitalnoj platformi, već se rezultati analiza i dijagnostike vraćaju nazad u operativni sloj kroz preporuke, automatska podešavanja i reorganizaciju prioriteta održavanja. Na taj način ostvaruje se potpuno zatvoren krug, u kojem sistem sam sebe unapređuje na osnovu akumuliranih operativnih iskustava.

Modernizacija obuhvata i fizičko unapređenje sistema kroz ugradnju specijalizovanog aktuatora na kritičnom mestu

kuglastog zatvarača, koji je ranije pokazivao nepouzdanost u radu. Uvođenjem ovog rešenja otklonjen je problem neefikasnog otvaranja i zatvaranja zatvarača, dok su sigurnost i pouzdanost sistema značajno poboljšani.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršena je analiza hidrauličkog sistema predturbinskog zatvarača, sa fokusom na njegovu tehničku strukturu, način funkcionisanja, održavanje i mogućnosti unapređenja u skladu sa savremenim industrijskim praksama. Analiza postojećeg sistema održavanja ukazala je na visoke operativne troškove, smanjenu pouzdanost i česte neplanirane zastoje.

Kao odgovor na ove izazove, predložen je inovativni pristup unapređenju modela održavanja primenom savremenih tehnologija: SCADA sistema, IoT senzora i metoda prediktivnog održavanja, koje omogućavaju prelazak sa reaktivnog na proaktivni model održavanja. Modernizacija obuhvata i fizičko unapređenje sistema kroz ugradnju specijalizovanog aktuatora na kritičnom mestu kuglastog zatvarača, koji je ranije pokazivao nepouzdanost u radu.

Delimična implementacija ovog inovativnog pristupa (instalacija IoT senzora, SCADA sistema i ugradnja aktuatora) donela je vidljive rezultate i značajno unapredila ukupne performanse hidrauličkog sistema upravljanja predturbinskim zatvaračem već posle šest meseci. Proizvodnja je ostvarila rast od 7%, što je posledica veće operativne dostupnosti sistema i smanjenja broja neplaniranih zastoja. Vreme trajanja zastoja, koje je ranije predstavljalo značajan izazov, smanjeno je za 23%, jer su kvarovi identifikovani u ranom stadijumu i rešavani pre nego što bi prouzrokovali veće posledice. Troškovi održavanja su takođe smanjeni za 15% u poređenju sa prethodnim periodom zahvaljujući preciznijim, planski vođenim intervencijama i boljem upravljanju ljudskim i materijalnim resursima. Dostupnost pouzdanih informacija u realnom vremenu značajno je olakšala donošenje odluka i omogućila brže reagovanje u situacijama kada su bile potrebne tehničke intervencije.

LITERATURA

[1] Vlasinske hidroelektrane, „Tehnički opis i uputstvo za rukovanje turbina i pumpe“, prema J.M. Voith-u: TU 568 Wa, 1954.

[2] S. Stefanović, M. Krstić. Hidraulične komponente i sistemi. Novi Sad: DTD Tehdis; 2009.

[3] Ž. Janković. Održavanje tehničkih sistema. Fakultet zaštite na radu, Univerzitet u Nišu; Niš: 2017.

[4] M. Vujić, V. Katić. “Primena SCADA sistema u smart gridu”, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, Br. 03, 2019, DOI: https://doi.org/10.24867/02BE03Vujic

[5] S. Drašković, V. Petrović, H. Milošević. „Primena PLC kontrolera i SCADA sistema u industrijskim postrojenja“, Zbornik radova konferencije INFOTEH 2013.. Vol. 13, Jahorina 2013, pp 495-499.

[6] Endress+Hauser. Operating Instructions - PCU: Universal Process Control Unit, NA006, NA250. Reinach, Switzerland: Endress+Hauser Instruments International AG; 2021.

[7] Endress+Hauser. Ceraphant T- Pressure switch PTC31, PTP31, PTP35: Technical Information (BA). Reinach, Switzerland: Endress+Hauser Process Solutions AG; 2022.

METODA SEČENJA KERAMIKE VODENIM MLAZOM – PRINCIPI I PRIMENA

METHOD OF CUTTING CERAMICS WITH ABRASIVE WATER JET – PRINCIPLES AND APPLICATION

Milica Janković, Gordana Jović, Miloš Stevanović

Sadržaj – Tehnologija obrade vodenim mlazom (eng. Water Jet – WJ) i abrazivnim vodenim mlazom (eng. Abrasive Water Jet – AWJ) predstavlja savremeni postupak nekonvencionalne obrade materijala zasnovan na erozivnom uklanjanju materijala pod dejstvom visokobrzinskog mlaza fluida. Zbog odsustva termičkog opterećenja i fleksibilnosti procesa, AWJ se široko primenjuje kod obrade materijala visokih performansi, uključujući metale, kompozite, staklo i keramiku. U radu su prikazani principi rada AWJ sistema, metode formiranja mlaza (metoda ubrizgavanja i suspenziona metoda), ključni procesni parametri i osnovne karakteristike erozije pri sečenju keramike. Kratak pregled literature obuhvata i kriterijume ocene kvaliteta reza koji se koriste pri analizi završne površine. Cilj rada je da pruži sistematičan i pregledan uvid u tehnološke i primenske aspekte AWJ sečenja keramike.

Ključne reči: AWJ, keramika, metoda ubrizgavanja, suspenziona metoda, vodeni mlaz, abrazivni vodeni mlaz.

Abstract – Water Jet (WJ) and Abrasive Water Jet (AWJ) processing technology is a modern procedure of unconventional material processing based on the erosive removal of material under the influence of a high-speed fluid jet. Due to the absence of thermal stress and the flexibility of the process, AWJ is widely used in the machining of high-performance materials, including metals, composites, glass and ceramics. The paper presents the working principles of the AWJ system, methods of jet formation (injection method and suspension method), key process parameters and basic characteristics of erosion when cutting ceramics. A brief review of the literature also includes the cut quality evaluation criteria used in the analysis of the final surface. The aim of the paper is to provide a systematic and reviewed insight into the technological and application aspects of AWJ ceramic cutting.

Keywords: AWJ, ceramics, injection method, suspension method, water jet, abrasive water jet.

1. UVOD

Tehnologije sečenja u industrijskoj proizvodnji poslednjih decenija beleže intenzivan razvoj zbog rastućih zahteva za bržom, preciznijom i pouzdanijom obradom materijala [1]. Obrada vodenim mlazom (eng. Water Jet - WJ) i Abrazivnim vodenim mlazom (eng. Abrasive Water Jet - AWJ) izdvajaju se kao savremene nekonvencionalne tehnologije sečenja koje obezbeđuju obradu bez kontakta i bez termičkog uticaja na materijal [2]. AWJ proces kombinuje kinetičku energiju mlaza vode pod visokim pritiskom i erozivno dejstvo abrazivnih čestica, omogućavajući efikasnu obradu materijala različite tvrdoće i strukture [3].

Keramika, kao materijal visoke tvrdoće, male žilavosti i izrazite krtosti, posebno reaguje na prednosti AWJ tehnologije jer se izbegavaju mikro-pukotine i termička degradacija koje su tipične za konvencionalne metode obrade [4]. Zbog toga je AWJ postao jedna od najpouzdanijih metoda za obradu naprednih keramičkih komponenti.

U radu su predstavljeni osnovni principi rada AWJ sistema, metode formiranja mlaza (metoda ubrizgavanja i suspenziona metoda), uticaj ključnih procesnih parametara i mehanizam erozije koji se javlja prilikom obrade keramike [5].

Milica Janković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milica.s.jankovic@akademijanis.edu.rs).

Gordana Jović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: gordana.jovic@akademijanis.edu.rs).

Milan Nikolić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milos.stevanovic@akademijanis.edu.rs).

Takođe je prikazan pregled literature koji obuhvata modelovanje procesa, analizu režima obrade i karakteristike završne površine. Cilj rada je da pruži jasan i sistematizovan pregled tehnoloških osnova i primene AWJ tehnologije u obradi keramike, sa naglaskom na faktore koji utiču na kvalitet i efikasnost procesa [3].

2. PRINCIP RADA MAŠINE ZA ABRAZIVNI VODENI MLAZ (AWJ)

Tehnologija sečenja abrazivnim vodenim mlazom zasniva se na pretvaranju hidrauličke energije vode pod visokim pritiskom u visokoenergetski mlaz koji erozivno uklanja materijal sa obratka. Proces se ostvaruje kroz međusobno povezane faze: pripremu vode, stvaranje visokog pritiska, formiranje vodenog mlaza, mešanje abraziva i konačno generisanje koherentnog abrazivnog mlaza pogodnog za sečenje [2]. Kvalitet reza i stabilnost rada zavise od pravilne funkcije svih ovih komponenti.

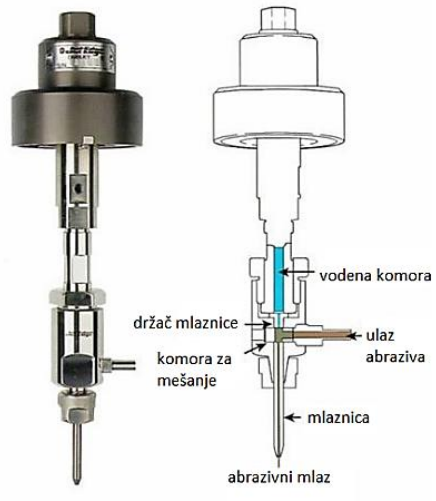
Voda kao osnovni radni fluid mora biti odgovarajućeg kvaliteta kako bi se obezbedila pouzdanost visokopritiskih elemenata. Zbog prisustva mineralnih soli i čvrstih čestica u vodi iz vodovoda primenjuje se višestepena filtracija (20 μm → 5 μm → 1 μm → 0,5 μm) i sistemi za omekšavanje vode. Time se znatno smanjuje habanje ventila, klipova i orifice mlaznice, čime se obezbeđuje stabilan rad pumpe i duži vek trajanja komponenti [2].

Nakon pripreme vode, pumpa visokog pritiska (high-pressure pump) pretvara mehaničku energiju elektromotora u hidrauličku energiju fluida pod pritiskom od 300–400 MPa. U AWJ sistemima najčešće se koriste klipne (eng. intensifier)

pumpe sa odnosom površina klipova oko 1:20, što omogućava postizanje izuzetno visokog izlaznog pritiska. Pri takvim uslovima voda dostiže brzine od 900–1000 m/s nakon prolaska kroz mlaznicu [1]. Stabilnost pritiska ključna je za ujednačen kvalitet reza, jer i male oscilacije mogu dovesti do variranja dubine i širine reza.

Voda pod visokim pritiskom transportuje se specijalnim cevovodima izrađenim od visokolegiranih čelika. Spojnice, ventili i cevovodi moraju biti apsolutno zaptiveni, jer čak i minimalni gubitak pritiska direktno utiče na energiju mlaza i efikasnost sečenja [2].

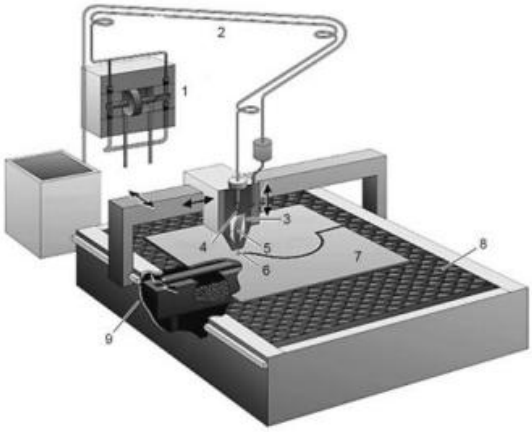
U reznoj glavi odvija se ključna transformacija mlaza. Prvo, voda prolazi kroz vodenu mlaznicu (eng. orifice), najčešće izrađenu od safira, rubina ili dijamanta, prečnika 0,1–0,4 mm, pri čemu se ubrzava u uzani i stabilni mlaz velike kinetičke energije [1]. Zatim mlaz ulazi u komoru za mešanje (eng. mixing chamber), gde zahvaljujući Venturi efektu stvara podpritisak koji uvlači abrazivne čestice. U ovoj zoni dolazi do mešanja i početnog ubrzavanja abraziva, što predstavlja osnovu za efikasno formiranje mlaza. Nakon toga, mešavina vode i abraziva prolazi kroz fokusirajuću mlaznicu (eng. focusing tube), dužine 70–75 mm i prečnika 0,8–1,2 mm. Ovaj element obezbeđuje dodatno ubrzavanje i usmeravanje čestica, formirajući koherentan mlaz velike erozivne moći. Fokusirajuće mlaznice se obično izrađuju od tvrdih metal-keramika (najčešće WC-Co karbid), kako bi se obezbedila otpornost na intenzivno abrazivno habanje [6].



Slika 1. *Šema abrazivno-vodenog mlaza* [10].

Formirani mlaz AWJ tehnologije karakterišu tri zone sa različitom raspodelom energije: zona jezgra, u kojoj je mlaz najkoherentniji i sečenje najefikasnije, zatim prelazna zona, u kojoj dolazi do početka divergencije i smanjenja brzine čestica, i na kraju zona disintegracije u kojoj mlaz gubi strukturu i dominira rasipanje energije i atomizacija [1]. Koliko dugo mlaz ostaje u zoni jezgra direktno određuje dubinu i kvalitet sečenja.

Pri udaru koherentnog mlaza u materijal, abrazivne čestice izazivaju iniciranje mikro-pukotina, njihovo lokalno širenje i odvajanje sitnih čestica materijala, što dovodi do erozivnog uklanjanja površinskih slojeva. Ovakav proces izdvajanja materijala naročito je efikasan kod krtih i tvrdih materijala kao što je keramika, jer se materijal uklanja lomom bez plastične deformacije i bez generisanja toplote [6].



Slika 2. *Komponente sistema za sečenje abrazivnim vodenim mlazom: 1 – visokopritisna pumpna jedinica; 2 – sistem za dovod vode; 3 – sistem za dovod abraziva; 4 – komora za mešanje; 5 – rezna glava (mlaznica); 6 – rešetkasti radni sto; 7 – rezervoar za vodu i abraziv.*

3. METODE FORMIRANJA ABRAZIVNOG MLAZA

Formiranje abrazivnog vodenog mlaza može se ostvariti na dva tehnološki različita načina: metodom ubrizgavanja (eng. Injection Method) i suspenzionom metodom (eng. Suspension Method). Oba pristupa zasnivaju se na kombinaciji hidrodinamičkog ubrzavanja fluida i kontrolisanog dovoda abraziva, ali se međusobno razlikuju po načinu pripreme i strukturi mlaza. Razlike u konstrukciji sistema direktno utiču na kinetičku energiju čestica, stabilnost mlaza i završni kvalitet reza, što je naročito značajno kod materijala kao što je keramika, osetljiva na mikro-pukotine i neujednačenu eroziju [1].

Kod metode ubrizgavanja mlaz vode pod visokim pritiskom prolazi kroz mlaznicu izuzetno malog prečnika, stvarajući snažan podpritisak (Venturi efekat) koji uvlači abraziv i, neizbežno, određenu količinu vazduha u komoru za mešanje [2]. Mešanje je intenzivno i prati ga neravnomerno strujanje, pri čemu se abrazivne čestice ubrzavaju udarima vodenog mlaza pre nego što uđu u fokusirajuću mlaznicu. Prednost ove metode je jednostavnija konstrukcija, niži troškovi sistema i široka industrijska primena. Međutim, prisustvo vazduha u mlazu smanjuje njegovu koherenciju, povećava rasipanje energije i utiče na veće širenje mlaza (eng. kerf widening), naročito u dubljim zonama reza [1]. Istraživanja pokazuju da u metodi ubrizgavanja dolazi i do većeg gubitka kinetičke energije abraziva usled sudara i turbulencija u zoni mešanja, što posebno utiče na obradu tvrdih i krtih materijala [8]. Zbog toga se metodom ubrizgavanja najčešće postiže umeren kvalitet reza, uz prisutne striacije i ograničenu dubinu prodiranja, što je potvrđeno u više eksperimentalnih studija [8,9].

Za razliku od toga, suspenziona metoda podrazumeva potpuno drugačiji koncept formiranja mlaza. U ovom sistemu

abraziv se unapred meša sa vodom u posebnom rezervoaru, čime se eliminiše prisustvo vazduha u zoni mlaza. Takva homogenizovana suspenzija se zatim pod visokim pritiskom ubrzava kroz mlaznicu, formirajući izrazito stabilan i koherentan mlaz sa većim intenzitetom lokalizovane energije [3, 4]. Zbog odsustva vazduha, kinetička energija čestica se efikasnije prenosi na obradak, a dissipacija energije je minimalna. Suspenziona metoda naročito je efikasna pri obradi keramike i drugih krtih materijala, gde se zahteva duboka penetracija i izuzetno nizak nivo površinskih oštećenja [6]. Studije pokazuju da suspenzioni mlaz omogućava znatno veću dubinu reza, ujednačenije uklanjanje materijala i manju konusnost, dok završna površina pokazuje smanjenu hrapavost u poređenju sa metodom ubrizgavanja [7].

U praksi, izbor između metode ubrizgavanja i suspenzione metode zasniva se na osnovu zahteva obrade: dok se metoda ubrizgavanja češće koristi zbog niže cene sistema i jednostavnijeg održavanja, suspenziona metoda pokazuje jasnu prednost kada je neophodan visok kvalitet reza, stabilan tok materijala i minimalna oštećenja površine. Oba pristupa imaju specifične prednosti, ali se u obradi keramike kao zahtevnog i krtog materijala suspenziona metoda pokazuje znatno efikasnijom zahvaljujući većoj kinetičkoj stabilnosti i homogenijem transportu abraziva kroz mlaz [7].

4. PREGLED LITERATURE

Zbog svoje visoke tvrdoće i krtosti, keramika se pri AWJ obradi uklanja uglavnom lokalnim lomom, pri čemu udar ubrzanih čestica dovodi do stvaranja i širenja sitnih pukotina. Ovakav način izdvajanja materijala potvrđen je analitičkim i numeričkim modelima koji prikazuju interakciju abrazivnih čestica i krtih površina [5]. Pored toga, istraživanja pokazuju da se tokom delovanja mlaza odvijaju hidrodinamički procesi poput neravnomerno strujanje, ubrzavanja i poravnanja abraziva, kao i mehaničko delovanje čestica na površinu materijala, što zajedno određuje specifičan erozivni karakter AWJ obrade [7].

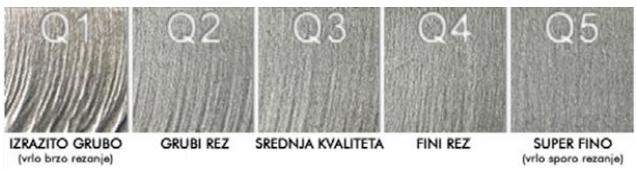
Optimizacija procesa zavisi od pravilnog odabira osnovnih parametara — pritiska, protoka abraziva, granulacije, brzine sečenja i rastojanja mlaznice — koji direktno utiču na koherentnost mlaza, dubinu reza i završni kvalitet površine. Istraživanja pokazuju da se najbolji odnos produktivnosti i kvaliteta postiže pritiscima 300–400 MPa, protocima abraziva od 300–400 g/min i malim rastojanjem mlaznice (1–3 mm), dok finija granulacija (120 mesh) doprinosi homogenijem uklanjanju materijala. Tabela 1 prikazuje pregled osnovnih procesnih parametara i njihov uticaj na kvalitet reza. [8, 9].

Tabela I *Osnovni parametri i njihov uticaj na kvalitet reza*

Parametar	**Uticaj**
Pritisak 300–400 MPa	dublji rez, bolja hrapavost
Protok abraziva 300–400 g/min	stabilan rez
Standoff 1–3 mm	manja divergencija mlaza
Brzina sečenja	veća brzina → lošiji kvalitet reza
Granulacija 80–120 mesh	120 mesh daje finiju površinu

Literatura posebno naglašava razlike u performansama metode ubrizgavanja i suspenzione metode. Kod metode ubrizgavanja, prisustvo vazduha u komori za mešanje dovodi do većeg gubitka kinetičke energije, širenja mlaza i izraženijih striacija, što može ograničiti dubinu reza i kvalitet površine pri obradi krtih materijala [3]. Eksperimenti pokazuju da turbulencija i trofazni tok u zoni mešanja smanjuju koherentnost mlaza, posebno pri većim brzinama sečenja. Nasuprot tome, suspenziona metoda obezbeđuje homogeniju i stabilniju strukturu mlaza zahvaljujući odsustvu vazduha, što rezultira većom energetskom efikasnošću i dubljom penetracijom abraziva. Zbog toga suspenziona metoda pokazuje značajne prednosti pri preciznim industrijskim aplikacijama kao što su mikrorezanje, obrada tankih keramičkih podloga i izrada delova složene geometrije [11]. Stabilnije ubrzavanje abraziva omogućava manju divergenciju mlaza, ujednačenije uklanjanje materijala i smanjenu hrapavost površine u poređenju sa metodom ubrizgavanja.

Kada je reč o oceni kvaliteta reza, u literaturi se najčešće analiziraju površinska hrapavost (Ra, Rz), konusnost reza (eng. taper angle), prisustvo striacija i vizuelna uniformnost površine. Standardizovana klasifikacija kvaliteta Q1–Q5 koristi se kao smernica pri opisivanju vizuelnog stanja površine, pri čemu se Q1 odnosi na najgrublji, a Q5 na najfiniji kvalitet reza [3]. U kontekstu obrade keramike, suspenziona metoda u većini studija dostiže više nivoe kvaliteta (Q3–Q5), dok metoda ubrizgavanja najčešće postiže Q1–Q2.



Slika 3. *Klasifikacija kvaliteta površine reza pri sečenju abrazivnim vodenim mlazom prema nivou završne obrade (Q1–Q5)* [11].

Zahvaljujući kombinaciji kontrolisanog hidrodinamičkog toka, mogućnosti precizne regulacije parametara i odsustvu termičkih oštećenja, AWJ tehnologija se pozicionirala kao jedna od najefikasnijih savremenih metoda za obradu keramike i drugih zahtevnih materijala [10].

5. ZAKLJUČAK

Sečenje abrazivnim vodenim mlazom predstavlja pouzdanu i visoko efikasnu tehnologiju za obradu materijala velike tvrdoće i osetljivosti na toplotu, među kojima keramika ima posebno izražene zahteve u pogledu kvaliteta reza i

stabilnosti procesa. Zahvaljujući hladnom načinu sečenja, odsustvu termičkih oštećenja i mogućnosti obrade složenih geometrija, AWJ omogućava postizanje kvaliteta reza koji je teško ostvariv konvencionalnim postupcima. Stabilnost visokopritiskog sistema, pravilno formiranje vodenog i abrazivnog mlaza i efikasna interakcija čestica sa površinom materijala ključni su elementi koji određuju ukupnu uspešnost procesa.

Uporedna analiza metoda formiranja mlaza pokazuje da se metoda ubrizgavanja široko koristi zbog jednostavne konstrukcije i pristupačnosti sistema, dok suspenziona metoda obezbeđuje stabilniji, koherentniji i energetski efikasniji mlaz. Eliminisanjem vazduha iz zone mešanja postiže se ravnomernije ubrzavanje abraziva, dublja penetracija mlaza i finiji kvalitet reza, što je naročito važno pri obradi krtih materijala poput keramike. Istraživanja potvrđuju da optimizacija ključnih parametara — pritiska, protoka abraziva, brzine sečenja, rastojanja mlaznice i granulacije abraziva ima presudan uticaj na stabilnost mlaza, geometriju reza i završni kvalitet površine.

Pregled literature pokazuje da dalji napredak AWJ tehnologije leži u unapređenju geometrije mlaznica, razvoju efikasnijih suspenzionih sistema i primeni numeričkih metoda za simulaciju toka abrazivnog mlaza (CFD analiza). Ovakvi pristupi omogućavaju bolje razumevanje ponašanja mlaza, smanjenje gubitaka energije i preciznije upravljanje procesom. Na osnovu razmatranih rezultata može se zaključiti da AWJ predstavlja jedno od najefikasnijih rešenja za preciznu obradu keramike, zahvaljujući kombinaciji kontrolisanog uklanjanja materijala, odsustvu termičkih uticaja i fleksibilnosti u primeni.

LITERATURA

[1] T. Glatki, M. Lacković, S. Kos, and J. Lončar, "Obrada vodenim i abrazivnim mlazom," *Tehnički Glasnik*, vol. 8, no. 3, pp. 245–251, 2014.

[2] P. Janković and M. Radovanović, "Identification and classification of factors influencing abrasive water jet cutting process," *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, vol. 56, no. 7–8, pp. 499–506, 2010.

[3] M. Putz, M. Dix, F. Morczinek, and M. Dittrich, "Suspension Technology for Abrasive Waterjet (AWJ) Cutting of Ceramics," *Procedia CIRP*, vol. 77, pp. 367–370, 2018.

[4] A. Morczinek, M. Putz, M. Dix, and M. Dittrich, "Comparison of abrasive water jet technologies based on geometrical characteristics of cut surfaces," *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 2020.

[5] M. Hashish, "Economics of Abrasive Waterjet Cutting of Ceramics," in *Proceedings of the WJTA American Waterjet Conference*, Houston, TX, USA, 2005.

[6] A. W. Momber and R. Kovacevic, *Principles of Abrasive Water Jet Machining*. London, U.K.: Springer, 1998.

[7] L. Zhu, W. Luo, H. Hu, S. Zhang, Y. Shi, and S. Huang, "Experimental study on high-pressure jet systems and abrasive particle behavior," *INMATEH – Agricultural Engineering*, vol. 73, no. 2, pp. 748–760, 2024.

[8] A. K. Aamir, R. Tolouei-Rad, M. Vafadar, N. A. Llanto, and A. Giasin, "Recent progress trend on abrasive waterjet cutting of metallic materials: A review," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 7, p. 3344, 2021.

[9] M. A., "Development of Water Jet Cutting and Study on Different Parameters," ResearchGate preprint, 2020.

[10] L. Hlaváč, "Revised Model of Abrasive Water Jet Cutting for Industrial Use," *Materials*, vol. 14, no. 14, p. 4032, 2021.

[11] M. Miletić, *Obrada vodenim mlazom*, završni rad, Veleučilište u Karlovcu, Strojarski odjel, Karlovac, Hrvatska, 2016.

METODOLOGIJA 3D SKENIRANJA
METHODOLOGY OF 3D SCANNING

Gordana Jović, Milica Janković, Petar Đekić i Miroslav Mijajlović

Sadržaj – Digitalizacija fizičkih objekata postaje ključni deo savremenih industrijskih procesa, posebno u oblastima kontrole kvaliteta, reverznog inženjerstva, medicine i arhitekture. Jedna od najrasprostranjenijih metoda je 3D skeniranje, koje omogućava transformaciju realnih objekata u precizne digitalne modele. U radu je prikazana metodologija 3D skeniranja zasnovana na principu strukturirane svetlosti, pri čemu projektor generiše svetlost u obliku linija koje se projektuju na površini objekta, dok digitalne kamere registruju prostorni položaj tačaka primenom triangulacije. Kvalitet dobijenih rezultata značajno zavisi od brojnih faktora, uključujući kalibraciju kamera, ugao triangulacije, rezoluciju i šum kamere, karakteristike sočiva, uslove osvetljenja i optička svojstva materijala objekta. Eksperimentalni deo istraživanja obuhvatio je analizu uticaja broja skeniranja na kvalitet oblaka tačaka kod jednostavne (valjak) i složene geometrije (zupčanik). Uzorci su izrađeni od PLA materijala na 3D štampaču kako bi se obezbedili identični uslovi. Skeniranje je izvršeno sa 6, 12 i 24 pojedinačna snimka. Rezultati pokazuju da povećanje broja skenova proporcionalno povećava broj registrovanih elemenata i smanjuje pojavu šupljina u modelu. Jednostavnije geometrije postižu zadovoljavajuću potpunost već pri manjem broju skenova, dok složenije površine zahtevaju veći broj mernih pozicija zbog šuma i teško dostupnih zona.

Ključne reči: 3D skeniranje, Reverzni inženjering, Triangulacija, Aditivna proizvodnja.

Abstract –The digitalization of physical objects is becoming a key part of modern industrial processes, especially in the fields of quality control, reverse engineering, medicine, and architecture. One of the most widespread methods is 3D scanning, which enables the transformation of real objects into precise digital models. This paper presents a 3D scanning methodology based on the principle of structured light, where a projector generates light in the form of lines projected onto the surface of the object, while digital cameras record the spatial position of points using triangulation. The quality of the obtained results significantly depends on numerous factors, including camera calibration, triangulation angle, resolution and camera noise, lens characteristics, lighting conditions, and the optical properties of the object's material. The experimental part of the research included an analysis of the influence of the number of scans on the quality of the point cloud for a simple geometry (cylinder) and a complex geometry (gear). The samples were made from PLA material on a 3D printer in order to ensure identical conditions. Scanning was performed with 6, 12, and 24 individual captures. The results show that increasing the number of scans proportionally increases the number of recorded elements and reduces the occurrence of voids in the model. Simpler geometries achieve satisfactory completeness even with a smaller number of scans, while more complex surfaces require a larger number of measurement positions due to noise and hard-to-reach zones.

Keywords: 3D scanning, Reverse engineering, Triangulation, Additive manufacturing.

1. UVOD

Primena savremenih tehnologija u oblasti industrije se sve više oslanja na metode digitalizacije fizičkih objekata. Jedna od najčešće primenjivanih metoda je 3D skeniranje, koja omogućuje transformaciju fizičkog objekta u 3D model. Tehnologija 3D skeniranja predstavlja bezkontaktni postupak, koji nalazi široku primenu u kontroli proizvoda, reverznom inženjerstvu, medicini, arhitekturi i kontroli kvaliteta [1]. Značajna primena 3D skeniranja ogleda se u reverznom inženjeringu, gde se digitalni modeli koriste kao osnova za rekonstrukciju postojećih proizvoda i tehničke dokumentacije [2].

Gordana Jović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: gordana.jovic@akademijanis.edu.rs).

Milica Janković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milica.s.jankovic@akademijanis.edu.rs).

Petar Đekić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: petar.djekic@akademijanis.edu.rs).

Miroslav Mijajlović, Mašinski fakultet u Nišu, Univerzitet u Nišu (imejl: miroslav.mijajlovic@masfak.ni.ac.rs).

Proces 3D skeniranja je zasnovan na principu triangulacije pomoću struktuirane svetlosti, podrazumeva projekciju struktuirane svetlosti paralelnih linija na merni objekat i njihovo snimanje pomoću dve digitalne kamere. U zavisnosti od rezolucije kamera, skener generiše oblak tačaka koji može sadržati od nekoliko stotina hiljada do nekoliko miliona tačaka po jednom skeniranju [1]. Dobijeni oblak tačaka predstavlja osnovu za formiranje poligonalne mreže, kojom se precizno opisuje geometrija i oblik skeniranog objekta.

Laserski i optički skeneri predstavljaju najčešće korišćeni uređaji u industriji zbog visoke brzine akvizicije podataka i potrebne tačnosti [3]. U kontekstu automatizovanog 3D skeniranja, istraživanja pokazuju da ključnu ulogu imaju specijalizovani mehanički uređaji koji obezbeđuju stabilno i ponovljivo pozicioniranje skeniranih delova. Posebno kod tankozidnih plastičnih komponenti lako može doći do deformacija usled sopstvene težine ili nepravilnog stezanja, što direktno utiče na kvalitet rekonstruisanog CAD modela [3].

Kvalitet 3D skeniranja zavisi od više međusobno povezanih faktora, vrste skenera, karakteristika geometrije objekta, refleksije površine, uslova osvetljenja, kalibracije i metode obrade podataka. Uporedne studije različitih sistema [4], poput poređenja optičkog skenera Steinbichler Comet

L3D i laserskog Creaform EXAscan, ukazuju da različite tehnologije daju različite tipove odstupanja: laserski skeneri postižu stabilnije i ujednačenije dimenzione rezultate, dok optički skeneri mogu ostvariti bolje vrednosti kod pojedinih geometrijskih karakteristika, poput perpendikularnosti [4]. U oba slučaja, ključnu ulogu imaju stabilni uslovi okruženja (temperatura, vlažnost, osvetljenje) i kvalitet pripreme objekta, posebno kod reflektivnih i sjajnih površina [4].

Imajući u vidu navedene izazove i faktore koji utiču na tačnost optičkog skeniranja, u ovom radu se posebna pažnja posvećuje analizi uticaja broja skenova, konfiguraciji skenera i geometriji objekta na kvalitet rekonstruisanog modela. Za potrebe eksperimentalnog dela korišćen je 3D optički skener RangeVision Smart, koji se zasniva na principu struktuirane svetlosti i koristi monohromatsku svetlost radi preciznog registrovanja geometrije objekata.

2. PRINCIPI RADA I PARAMETRI I KOJI UTIČU NA KVALITET 3D SKENIRANJA

Parametri koji utiču na kvalitet dobivenih rezultata su kalibracija kamera, nivo osvetljenja, nagib lasera, rezolucija kamere, ugao triangulacije, refleksija površine, kvalitet sočiva, boja i materijal površine [1]. Prilikom postupka skeniranja, projektor projektuje svetlost na površinu objekta, a kvalitet dobijenih rezultata u velikoj meri zavisi od karakteristika površine objekta [5].

Jedan od najvažnijih parametara je ugao triangulacije, odnosno ugao između dve kamere kod skenera. Tačnost merenja raste sa povećanjem ovog ugla, jer se preciznije određuje položaj tačaka na površini objekta [6]. Međutim, veći ugao istovremeno dovodi do pojave senčenja, pri čemu dublje šupljine ili džepovi ostaju nedostupni kamerama [7]. Zbog toga je kod komercijalno dostupnih skenera tipičan ugao triangulacije oko 30°, takođe, značajan faktor jeste rezolucija i šum kamere. Veći broj piksela omogućava generisanje većeg broja 3D tačaka po jednom skeniranju, ali istovremeno smanjuje veličinu pojedinačnih piksela na senzoru, čime raste nivo šuma u slici. Prekomeran šum negativno utiče na tačnost skeniranja, pa u pojedinim slučajevima kamere niže rezolucije mogu dati preciznije rezultate zbog manjeg šuma. Stoga je neophodno uspostaviti balans između rezolucije senzora i nivoa šuma. Pored toga, kvalitet sočiva ima direktan uticaj na tačnost merenja, sočiva sa manjim stepenom izobličenja omogućavaju bolju kalibraciju i smanjuju sistematske greške. Kalibracija predstavlja postupak kojim se uspostavlja koordinatni sistem (XYZ) skenera i određuje tačan odnos između projektora i kamera. Na taj način se omogućuje da se svaka tačka oblaka pravilno pozicionira u prostoru i da se obezbedi usklađenost više pojedinačnih skenova u jedinstven trodimenzionalni model. Tačnost skeniranja je naročito izražena kod manje složenih geometrija, gde se preciznije određuju konture i gde je manja verovatnoća pojave senčenja. Takođe, broj pojedinačnih skenova ima važnu ulogu u kvalitetu konačnog modela, naročito kada se koristi obrtno postolje, jer veći broj skeniranja iz različitih uglova omogućava detaljniju rekonstrukciju složenijih površina i smanjuje verovatnoću nastanka praznina u oblaku tačaka [7].

Prethodna istraživanja pokazuju da boja i optička svojstva materijala značajno utiču na preciznost 3D skeniranja. Crne i veoma tamne površine apsorbuju svetlost, što dovodi do gubitka podataka i nedovoljno precizne geometrije. Sjajne površine reflektuju svetlosne zrake, stvaraju šum u skeniranom modelu [7]. Suprotno tome, bele i mat površine daju najstabilnije i najpouzdanije rezultate, dok kod providnih i sjajnih objekata, mogu prouzrokovati greške usled apsorpcije, refleksije ili prelamanja svetlosti i u tom slučaju skeniranje je nemoguće bez dodatne obrade, pa se u praksi primenjuju različiti sprejevi za matiranje [1].

3. EKSPERIMENTALNI DEO

3.1 oprema i materijal

Za potrebe eksperimentalnog dela istraživanja korišćen je 3D optički skener RangeVision Smart, koji radi na principu struktuirane svetlosti. Uzorci korišćeni u eksperimentu izrađeni su od PLA (polylactide) materijala crvene boje, primenom 3D štampača Sindoh Wox DP 200. Svi uzorci su proizvedeni uz identične procesne parametre, uključujući debljinu sloja, brzinu štampe, temperaturu mlaznice (200℃) i temperaturu radne ploče (60℃). Obezbeđivanjem istih uslova izrade eliminisana je varijabilnost koja bi mogla nastati usled razlika u materijalu ili parametrima štampe, čime je omogućeno da se efekti uočeni u skeniranju mogu nedvosmisleno pripisati promene broja skeniranja, geometriji objekta i podešavanjima skenera.

Takav pristup obezbeđuje ponovljivost eksperimenta i visok stepen kontrole nad svim faktorima koji mogu uticati na kvalitet dobijenog oblaka tačaka.



Slika 4. *3D štampač Sindoh Wox DP 200 sa odštampanim uzorcima (valjak i zupčanik) od PLA materijala*

Na slici 1 prikazan je izgled odštampanih modela (valjak i zupčanik) izrađenih na 3D štampaču Sindoh Wox DP 200, oba uzorka su štampana istovremeno, pod potpuno identičnim procesnim parametrima.

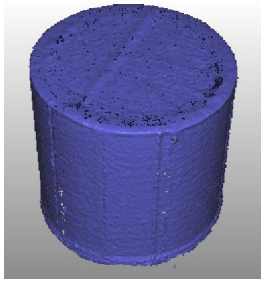
3.2 metodologija 3d skeniranja

Pre početka eksperimentalnog merenja izvršena je kalibracija 3D optičkog skenera RangeVision Smart kako bi se obezbedila pravilna orijentacija kamera i projektora u odnosu na referentni koordinatni sistem. Uzorci su postavljeni na obrtno postolje, pri čemu je položaj objekata ostao nepromenjen tokom svih merenja. Osvetljenje je održavano konstantnim i podešeno na maksimalnu vrednost 5, kako bi se eliminisao uticaj ambijentalnih promena na kvalitet akvizicije podataka.

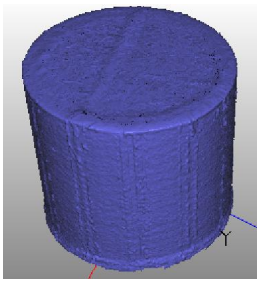
U eksperimentalnom postupku variran je broj skeniranja, koji je iznosio 6, 12 i 24, dok su svi ostali parametri ostali nepromenjeni. Na ovaj način obezbeđeni su identični uslovi skeniranja, čime je omogućeno da se izolovano ispita uticaj broja skenova na kvalitet dobijenog oblaka tačaka. Variranje je sprovedeno kod dva tipa površina: jednostavnije geometrije – valjka, i složenije geometrije – zupčanika, pri čemu su boja, materijal i uslovi izrade oba uzorka bili isti.

3.3 rezultati

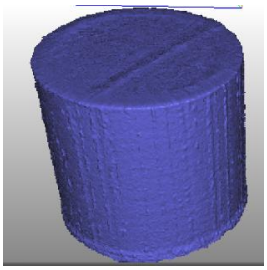
Na slikama 2, 3 i 4 prikazani su rezultati skeniranja valjka za 6, 12 i 24 skena.



Slika 5. *Oblak tačaka valjka dobijen nakon 6 skeniranja*



Slika 6. *Oblak tačaka valjka dobijen nakon 12 skeniranja*

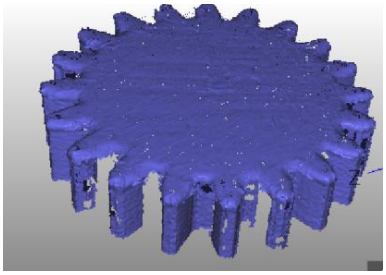


Slika 7. *Oblak tačaka valjka dobijen nakon 24 skeniranja*

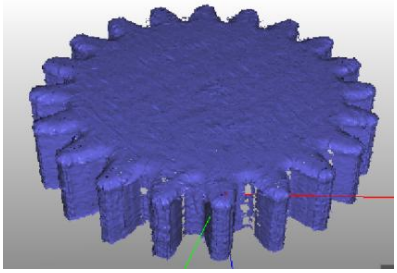
Kod 6 skenova uočavaju se lokalne šupljine, nedostajući segmenti i neujednačena gustina oblaka tačaka, posebno u zonama koje su pod većim uglom u odnosu na kamere. Povećanjem broja skeniranja na 12, ove šupljine se gotovo u potpunosti eliminišu, a oblak tačaka dobija veću homogenost.

Najpreciznji rezultati dobijeni su pri 24 skena, gde je model u potpunosti zatvoren, bez vidljivih diskontinuiteta, uz najvišu gustinu obrađenih elemenata.

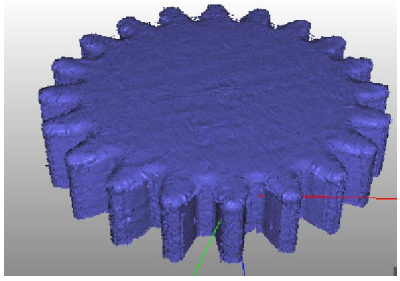
Zbog složenije geometrije zupčanika i prisutnih udubljenja i uskih prostora između zubaca, kvalitet skeniranja značajno zavisi od broja skenova. Na rezultatima za 6 skenova (Slika 5) prisutne su izražene senčene zone i delovi geometrije koji nisu registrovani.



Slika 8. *Oblak tačaka zupčanika dobijen nakon 6 skeniranja*



Slika 9. *Oblak tačaka zupčanika dobijen nakon 12 skeniranja*



Slika 10. *Oblak tačaka zupčanika dobijen nakon 24 skeniranja*

Pri 12 skenova vidljiva je primetna redukcija šupljina, ali pojedini dublji delovi i dalje ostaju nedovoljno definisani. Tek pri 24 skena ostvarena je najkompletnija slika, iako je kod zupčanika i dalje prisutno nekoliko vrlo malih praznina usled ograničenja pristupa svetlosti zraka kamerama.

Tabela I prikazuje zavisnost broja dobijenih elemenata (tačaka) od variranja broja skeniranja. Rezultati pokazuju da povećanje broja skenova dovodi do proporcionalnog porasta broja registrovanih elemenata kod obe geometrije.

Tabela I. *Broj dobijenih elemenata (tačaka) pri skeniranju*

Br. skena	*6*	*12*	*24*
Valjak	*418138*	*835956*	*1687703*
Zupčanik	*362143*	*722021*	*1391171*

Rezultati istraživanja ukazuju da povećanjem broja skeniranja dovodi do proporcionalnog porasta broja elemenata kod obe skenirane geometrije. Kod jednostavnije geometrije valjka uočava se gotovo linearna zavisnost između broja skenova i broja dobijenih elemenata, pri čemu je ukupan broj elemenata veći u odnosu na složeniju geometriju. Suprotno tome, kod zupčanika je registrovan niži broj elemenata, što se može pripisati prisustvu senki i teško dostupnih zona koje otežavaju akviziciju podataka.

4. DISKUSIJA

Analiza rezultata iz Tabele I i kvalitativnih prikaza oblaka tačaka pokazuje da povećanje broja skeniranja dovodi do proporcionalnog porasta broja registrovanih tačaka kod obe geometrije. Time se smanjuje pojava praznina i postiže veća homogenost rekonstruisanog 3D modela.

Iako je zupčanik geometrijski složeniji objekat, pri istom broju skenova zabeležen je veći broj tačaka kod valjka. Ova razlika može se objasniti većom efektivnom vidljivom površinom valjka tokom procesa skeniranja. Njegova glatka i kontinualna površina omogućava stabilnu registraciju tačaka iz većine uglova, dok kod zupčanika prisutni zupci, udubljenja i uski međuprostori dovode do pojave senčenja i otežane akvizicije podataka.

Zavisnost između broja tačaka i površine objekta stoga nije isključivo kvantitativna, već zavisi od dostupnosti površine optičkom sistemu. Kod jednostavnijih geometrija ta zavisnost je izraženija i bliža linearnoj, dok se kod složenijih geometrija narušava usled optičkih ograničenja skenera. Ovi rezultati ukazuju na potrebu prilagođavanja broja skenova geometrijskoj složenosti objekta radi postizanja optimalnog kvaliteta digitalnog modela.

5. ZAKLJUČAK

Trodimenzionalno skeniranje predstavlja savremeni proces digitalizacije fizičkih objekata kojim se obezbeđuje precizno prikupljanje prostornih informacija o njihovoj geometriji. Na taj način moguće je rekonstruisati i najkompleksnije oblike uz visok nivo ponovljivosti, što je od ključnog značaja u konstrukcionom projektovanju, reverznom inženjeringu, izradi tehničke dokumentacije i kontroli kvaliteta. Integrisanjem dobijenih oblaka tačaka u CAD i MKE okruženja, uz primenu odgovarajućih softverskih alata za obradu i konverziju podataka, obezbeđuje se pouzdana osnova za dalja inženjerska ispitivanja i optimizaciju konstrukcionih rešenja.

Rezultati sprovedenog eksperimenta pokazuju da broj skeniranja ima presudan uticaj na potpunost i gustinu rekonstruisanog 3D modela. Jednostavnije geometrije, poput valjka, postižu visok kvalitet rekonstrukcije već sa 12 skenova, dok složenije geometrije, kao što je zupčanik, zahtevaju veći broj skenova kako bi se umanjio efekat senčenja i obezbedila adekvatna zamapiranost teško dostupnih zona. Analiza broja elemenata u oblaku tačaka pokazuje proporcionalan porast sa povećanjem broja skenova kod obe geometrije, pri čemu je uticaj složenosti površine znatno izraženiji kod zupčanika.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da izbor optimalnog broja skeniranja zavisi prvenstveno od geometrije objekta i zahteva tačnosti rekonstrukcije. Pravilnim podešavanjem parametara optičkog 3D skeniranja moguće je značajno unaprediti kvalitet digitalizacije i obezbediti pouzdane modele za primenu u tehničkim analizama, simulacijama i postupcima reverznog inženjeringa. Dobijeni rezultati mogu poslužiti kao smernice za optimizaciju procesa 3D skeniranja u budućim istraživanjima i industrijskim primenama.

LITERATURA

[1] B. Mongon, J. Pfeifer, и E. Klaas, „What light color should a White-Light-Scanner use?“.

[2] „G. Jović, M. Pavlović i M. Pešić ‚PRIMENA 3D SKENERA PRILIKOM ODREĐIVANJA ODSTUPANJA SOLID MODELA OD ODŠTAMPANOG MODELA‘ ZBORNIK RADOVA AKADEMIJA TEHNIČKO-VASPITAČKIH STRUKOVNIH STUDIJA - NIŠ, Decembar 2022.“

[3] N. Krznar, A. Pilipović, и M. Šercer, „Additive Manufacturing of Fixture for Automated 3D Scanning – Case Study“, Procedia Eng., том 149, стр. 197–202, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.656.

[4] T. Tóth и J. Živčák, „A Comparison of the Outputs of 3D Scanners“, Procedia Eng., том 69, стр. 393–401, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.03.004.

[5] A. Haleem и Mohd. Javaid, „3D scanning applications in medical field: A literature-based review“, Clin. Epidemiol. Glob. Health, том 7, изд. 2, стр. 199–210, Јуни 2019, doi: 10.1016/j.cegh.2018.05.006.

[6] A. Haleem и остали, „Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview“, Int. J. Cogn. Comput. Eng., том 3, стр. 161–171, Јуни 2022, doi: 10.1016/j.ijcce.2022.08.003.

[7] G. Jović, B. Anđelković, M. Pavlović, M. Nikolić, и M. Mijajlović, „THE INFLUENCE OF AN OBJECT’S COLOR AND TOPOLOGY ON THE PRECISION OF THE 3D SCANNING PROCESS AND THE QUALITY OF THE OBTAINED CAD MODEL“, Innov. Mech. Eng. Univ. Niš Fac. Mech. Eng., том 11, изд. 3, стр. 360–374, Авг. 2020, doi: 10.37789/rjce.2020.11.3.8.

RAZVOJ PLANETARNOG PRENOSNIKA ZA VUČNO VITLO WARN 9.5XP
DEVELOPMENT OF PLANETARY TRANSMISSION FOR WARN 9.5XP WINCH

Miloš Stevanović i Jelena Stefanović Marinović

Sadržaj – U ovom radu je prikazan razvoj planetarnog prenosnika za vučno vitlo terenskog vozila. Vitlo na terenskom vozilu služi da omogući nastavak kretanja vozila ukoliko zbog prepreke van asfaltiranih puteva ne može sopstvenim pogonom da nastavi svoje kretanje. Vitlo se satoji od užeta, doboša, mehaničkog prenosnika, motora i kočnice. Mehanički prenosnik na vitlu služi da obrtni moment motora transformiše u potrebni obrtni moment bubnja i time obezbedi adekvatnu vučnu silu vitla. Vitla za terenska vozila se najčešće izvode sa planetarnim prenosnikom. Ovaj tip prenosnika omogućuje konstrukciju vitla pogodnog oblika da bi vitlo bilo moguće ugraditi na terensko vozilo uz ostvarivanje potrebnog prenosnog odnosa. Izvršeno je usvajanje svih neophodnih faktora za pororačun zupčanika, izračunavanje opterenja zubaca na osnovu maksimalnog opterećenja vitla i izračunavanje neophodnih ulaznih dimenzija za programski proračun dimenzija zupčanika. Potom su prikazane dobijene vrednosti dimenzija zupčanika. Na kraju je izvršeno razmatranje dobijenih podataka.

Ključne reči: vitlo, terensko vozilo, planetarni prenosnik, zupčanik.

Abstract – This paper presents the development of a planetary gearbox for the winch of an off-road vehicle. The winch on an off-road vehicle serves to enable the vehicle to continue moving if, due to an obstacle off paved roads, it cannot continue its movement using its own drive. The winch consists of a rope, drum, mechanical transmission, motor, and brake. The mechanical transmission in the winch is used to transform the motor torque into the required drum torque, thereby providing the appropriate pulling force of the winch. Winches for off-road vehicles are most commonly designed with a planetary gearbox. This type of gearbox enables the construction of a winch with a suitable shape so that the winch can be installed on an off-road vehicle while achieving the required gear ratio. All necessary factors for the gear calculation were adopted, the tooth load was calculated based on the maximum load of the winch, and the required initial dimensions for the software-based calculation of gear dimensions were determined. The obtained gear dimension values are then presented. Finally, the obtained data are discussed.

Keywords*:* winch, off-road vehicle, planetary transmission, gear.

1. UVOD

Terenska vozila su vrsta vozila čija je namena da se osim kretanja asfaltiranim putevima kreću i van puteva. Njihova sposobnost da se kreću van puteva ogleda se u tome što imaju konstrukciju koja omogućava kretanje po terenima sa velikim neravninama i velikim nagibom, imaju pogon na svim točkovima i velike točkove. Međutim, ova vozila na teško prohodnim terenima, nailaze na prepreke koje ne mogu da savladaju, te im je potrebna dodatna oprema u vidu vitla [1].

Vitlo je uređaj kojim se uže jednim svojim krajem namotava na bubanj, pri čemu se na drugom kraju može pričvrstiti određeni predmet i vući. Spada među najstarije uređaje koje ljudi koriste unazad hiljadama godina. Prvi zapisi o korišćenju neke vrste vitla potiču iz doba Persijskih ratova gde su drvenim vitlima spuštani i podizani mostovi [1].

Vitla za terenska vozila su uređaji koji omogućuju vozilu prohodnost kroz prepreke u teško prohodnom terenu. Dizajnirana su da izvuku terensko vozilo kada usled prepreke tokom svog kretanja ne može da nastavi dalje kretanje.

Miloš Stevanović, Mašinski fakultet u Nišu, Univerzitet u Nišu Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš (imejl: milosknjazevac@gmail.com).

Jelena Stefanović Marinović, Mašinski fakultet u Nišu, Katedra za mašinske konstrukcije razvoj i inženjering, Univerzitet u Nišu Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš (imejl: jelena.stefanovic@masfak.ni.ac.rs).

Ova vitla kao i ostala vitla, se sastoje od pogonskog motora, bubnja sa užetom i mehaničkog prenosnika između njih [1].

U ovom radu je obrađen postupak proračuna mehaničkog prenosnika – planetarnog prenosnika za vučno vitlo terenskg vozila prema tehničkim podacima vitla Warn 9.5Xp. Ovaj proračun se može upotrebiti za razvoj planetarnog prenosnika vitla bilo koje vučne mase. U sledećim primerima su navedeni autori i radovi sa sličnom tematikom razvoja planetarnih prenosnika kod uređaja i mašina drugih namena.

Doris Stavljenić u svom radu [2] prikazuje konstruisanje planetarnog menjača sa 3 brzine u glavi zadnjeg točka bicikle. Rad prati proračun od usvajanja pogonskog opterećenja izazvanog nogom odraslog čoveka na pedali bicikle, kinematike prenosnika, proračuna planetarnog prenosnika sve do tehničkog rešenja ovog prenosnika.

Ivan Galić se u svom diplomskom radu [3] bavi procesom konstruisanja jednostepenog planetarnog prenosnika. Rad uopšteno govori o kontrukciji planetarnog prenosnika tipa 1AI sa proračunom svih elemenata i merama za kontrolu. Na kraju rada daje kompletne tehničke crteži svih elemenata prenosnika.

Mateo Vugrinec u svom diplomskom radu [4] govori o razvoju planetarnog prenosnika za vetrogeneratore. Uvod ovog rada obrađuje temu vetrogeneratora, tipove

vetrogeneratora kao i samu konstrukciju vetro generatora. Razrada rada obrađuje proračun zupčanika planetarnog prenosnika vetrogeneratora, modeliranje zupčanika i analizu čvrstoće metodom konačnih elemenata. Na kraju rada daje tehničku dokumentaciju svih elemenata prenosnika.

2. MEHANIČKI PRENOSNICI

Mehanički prenosnici su sklopovi, koji se nalaze između pogonskih i radnih mašina. Njihova funkcija je da obavljaju transformaciju kretanja i energije pogonskih mašina prilagođavajući ih radnim mašinama. Mehanički prenosnici se sastoje od najmanje tri člana: pogonski član, gonjeni član i kućište [5].

Planetarni prenosnici pripadaju grupi mehaničkih prenosnika. Razvijeni su iz potrebe da se u malom prostoru ostvari veliko umanjenje broja obrtaja. Ovo je ostvareno korišćenjem zupčanika sa unutrašnjim ozubljenjem unutar koga se nalaze svi ostali elementi prenosnika. Tako da za isti prenosni odnos planetarni prenosnici imaju dimenziju neznatno veću od velikog zupčanika klasičnog prenosnika. Iz ovoga proizilazi da planetarni prenosnici imaju i značajno manju masu što ih čini pogodnim za primenu u lakim konstrukcijama [5].

Glavna karakteristika planetarnih prenosnika je grananje snage. Ovo je ostvareno popunjavanjem prostora između centralnih zupčanika, ozubljenog venca i centralnog sunčanog zupčanika, većim brojem zupčanika koji se nazivaju sateliti. Sateliti u istom vremenskom periodu istovremeno prenose kretanje između centralnih zupčanika i time dele ukupno opterećnje koje se prenosi prenosnikom. Ovim je smanjeno kontaktno naprezanje između dva zuba koja su u sprezi. Naziv su dobili po tome što sateliti pored toga što rotiraju oko svoje ose zajedno sa osom rotiraju i oko osa centralnih zupčanika, čime ovo kretanje podseća na kretanje planeta oko sunca [5].

3. VITLO WARN 9.5XP

Vitlo Warn 9.5XP je namenjeno za ugradnju na terenska vozila i predviđeno je da se montira na prednjem ili zadnjem delu vozila. Sastoji se od elektromotora, kočnice, planetarnog prenosnika, bubnja, čeličnog užeta (sajle), uvodnika sajle i instalacije za povezivanje i upravljanje. Ovo vitlo kao pogonski agregat koristi elektomotor jednosmerne struje sa rednom pobudom snage 4,5 kW. Napaja se strujom sa baterije (akumulatora) vozila napona 12 V. Motor pri maksimalnom opterećenju povlači struju od 482 A [6].

Elektromotor je povezan šestougaonim vratilom sa planetarnim prenosnikom. Vratilo ide od jednog kraja gde se nalazi motor kroz bubanj gde imamo kočnicu kada motor nije aktivan, zatim kroz ceo prenosnik sve do ulaznog zupčanika na drugom kraju. Kočnica se nalazi unutar bubnja i kada motor ne radi koči doboš u odnosu na ulazno vratilo prenosnika. Doboš je spojen direktnim ozubljenjem na izlazu iz prenosnika, tako da kada je kočnica aktivna ona koči izlazno vratilo u odnosu na ulazno vratilo prenosnika. Time prenosnik trpi svo opterećenje kojim je opterećeno vitlo. Kočnica se otpušta prilikom aktiviranja elektromotora i opterećenje se onda prenosi njemu.

Prenosnik je planetarni sa prenosnim odnosom 156, raspodeljenim u tri stepena prenosa. Na prenosniku se nalazi i mehanička ručica kojom se fizički blokira jedan od ozubljenih venaca kada je vitlo u vučnom režimu. Ona omogućuje odblokiranje istog ozubljenog venca kada vitlo nije u vučnoj funkciji, da bi se obezbedilo slobodno okretanje bubnja, pored kočnice koja je aktivna kada vitlo nije u funkciji, i time omogućilo slobodno razmotavanje sajle. Broj 9,5 u nazivu označava maksimalnu vučnu silu od 9500 lb odnosno 4310 kg [6].

12V DC PERFORMANCE SPECS

Line Pull Lbs.(Kgs.)	Line Speed FT./min(M/min.)	Motor Current	Pull by layer layer/Lbs(Kgs.)
0	37.5 (11.43)	71 amps	1/9500 (4313)
2000 (910)	16.6 (5.06)	169 amps	2/8650 (3927)
4000 (1810)	11.8 (3.60)	248 amps	3/7920 (3595)
6000 (2720)	9.3 (2.83)	328 amps	4/7400 (3359)
8000 (3630)	7.4 (2.25)	413 amps	5/6940 (3150)
9500 (4310)	6.2 (1.89)	482 amps	

Above performance specs are based on first layer of drum

Slika 1. *Karakteristike vitla Warn 9.5XP* [6]

Bitan podatak koji treba naglasiti, a može se videti u karakteristikama proizvoda na slici 1., je da sila povlačenja zavisi od toga koliko slojeva sajle ima namotanih na dobošu. Deklarisana maksimalna sila vuče se ostvaruje samo na prvom sloju i opada sa svakim narednim slojem. Doboš prečnika ∅63,5 mm, širine 226,6 mm može da primi ukupno 30 m sajle prečnika 8 mm. Ispred doboša se nalazi uvodnik sajle koji ima rolere da bi sajla kada se vuče pod nekim uglom imala preko čega neometano da klizi. Upravljanje na ovom vitlu je pomoću kontrolne ručice kojom se može upravljati iz vozila i van njega [6].

4. PRORAČUN

Da bi se izvršio proračun elemenata koji čine planetarni prenosnik za vučno vitlo potrebna su mehanička opterećenja koja deluju na svaki element prenosnika. Pored toga potrebni su i faktori koji se usvajaju u zavisnosti od koncepta konstrukcije.

Konstrukcioni podaci vitla Warn 9.5XP daju informaciju da je prenosnik sačinjen od tri stepena prenosa sa prenosnim odnosom $i_{uk} = 156$ koji je raspoređen po stepenima prenosa sa usvojenim brojevima zubaca prikazanim u tabeli I.

Tabela I *Brojevi zubaca zupčanika*

Brojevi zubaca zupčanika	Prvi stepen	Drugi stepen	Treći stepen
Centralni sunčani	z_{11}=12	z_{12}=18	z_{13}=15
Satelit	z_{21}=24	z_{22}=21	z_{23}=30
Centralni venčani	z_{31}=-60	z_{32}=-60	z_{33}=-75
Broj satelita	n_{w1}=3	n_{w2}=3	n_{w3}=3
Prenosni odnos	i_1=6	i_2=4,333	i_3=6

Stepen iskorišćenja ovog prenosnika nije poznat pa je usvojena teorijska vrednost svakog stepena prenosa 0,97. Ukupni stepen iskorišćenja prenosnika dobijen je množenjem

pojedinačnih stepena iskorišćenja svakog stepena i dobijena je vrednost $\eta_{uk} = 0{,}91$ [1].

Sam prenosnik na izlazu opterećen je obrtnim momentom koji na doboš stvara uže masom predmeta koji se vuče. Vučna sila užeta (1) se izračunava preko maksimalne vučne mase koju vitlo ostvaruje prema svojim karakteristikama prikazanim na slici 1. Ova vrednost (1) se dalje koristi za izračunavanje obrtnog momenta doboša (2) preko njegovih dimenzija. Broj obrtaja doboša (3) se izračunava na osnovu brzine kretanja užeta očitanog na slici 1. za maksimalnu vučnu masu vitla.

$$F_u = m * g = 4310\ kg * 9{,}81\ \frac{m}{s^2} = 42281{,}1\ N \qquad (1)$$

$$T_d = F_u * \frac{D_d}{2} = 42281{,}1\ N * \frac{0{,}0635\ m}{2} = 1342{,}425\ Nm \qquad (2)$$

$$n_d = \frac{V_u}{D_d * \pi} = \frac{1{,}89\ \frac{m}{s}}{0{,}0635\ m * \pi} = 9{,}474\ min^{-1} \qquad (3)$$

Poznavanjem obrtnog momenta (2) i broja obrtaja (3) na izlazu iz prenosnika tj. na bubnju kao i prenosne odnose prikazane u tabeli I i stepen iskorišćenja na svakom stepenu prenosa vrši se izračunavanje broja obrtaja i obrtnog momenata na ulazu u svaki tepen prenosnika. Ove vrednosti su prikazane u tabeli II.

Tabela II *Vrednosti broja obrtaja i obrtnog momenata*

Prvi stepen	$n_{1,1} = n_m = 1500\ min^{-1}$
	$T_{1,1} = T_m = 9549\ Nmm$
Drugi stepen	$n_{1,2} = n_{H,1} = 250\ min^{-1}$
	$T_{1,2} = 55575{,}18\ Nmm$
Treći stepen	$n_{1,3} = n_{H,2} = 57{,}697\ min^{-1}$
	$T_{1,3} = 233583{,}037\ Nmm$

Dobijena opterećenja nisu stvarna opterećenja koja deluju na elemente prenosnika. Tokom rada mogući su razni udari i promene opterećenja koji se ne mogu analitičkim putem utvrditi. Zbog toga se ova opterećenja množe faktorom radnih uslova da bi se dobila merodavna opterećenja. Terenska vozila se koriste u jako ekstremnim uslovima i ne mogu se svi uticaji na opterećenje predvideti a postoje korisnici vitla koji učestvuju u sportskim takmičenjima i maksimalno eksploatišu vitlo. Na osnovu ovoga za radnu mašinu elektromotor, gde postoje česta uključivanja, sa radnom mašinom koja trpi srednje udare, usvojen je faktor radnih uslova K_A=1,5 [1].

Radni vek vitla, a time i njegovog prenosnika je ključna u proračunu njegovih elemenata. Potrebno je da svi elementi prenosnika imaju približno jednako vreme trajanja. Ukoliko to nije izvodljivo onda se zamena tih elemenata vrši posle određenog vremena. Ovaj parametar se mora posmatrati za dve vrste korisnika. Jedni su prosečni korisnici koji svoje vozilo koriste svakodnevno u terenskim uslovima i vitlo koriste svakodnevno u kratkim vemenskim intervalima. Drugi su sportisti koji vozilo kriste za sportske događaje koji se ne održavaju svakog dana ali se vitla koriste u dužim vremenskim intervalima. Na osnovu analize ove dve vrste korišćenja vitla na terenskom vozilu dobijen je podatak da radni vek iznosi 500h [1].

Faktor raspodele opterećenja je faktor koji uvećava opterećenje koje prenose sateliti pojedinačno. Uvodi se zbog toga što nije moguće apsolutno tačno izraditi elemente planetarnog prenosnika i opterećenje se ne deli ravnomerno između satelita. Ovaj efekat može da se smanji uvođenjem raznih konstrukcijskih rešenja uležištenja elemenata prenosnika. Jedno od tih rešenja je i plivajući element koji nije uležišten i može da se namešta u sprezi sa ostalim elementima. Ovo konstrukcijsko rešenje je iskorišćeno u konstrukciji ovog prenosnika i prema tome je usvojen faktor raspodele opterećenja K_Y=1,1 [5].

Izbor materijala zupčanika planetarnog prenosnika se izvodi na isti način kao i za ostale zupčaste prenosnike. Najveću nosivost bokova zubaca daju čelici za cementaciju i oni se koriste za izradu zupčanika sa spoljašnjim ozubljenjem. Zbog poteškoće brušenja unutrašnjeg ozubljenja posle cementacije, ozubljeni venci se obično prave od čelika za poboljšanje. Površinski pritisci između zupčanika sa unutrašnjim ozubljenjem manji su nego kod sprege dva zupčanika sa spoljašnjim ozubljenjem. Prema tome za materijale zupčanika usvojeni su za sve zupčanike sa spoljašnjim ozubljenjem čelik za cementaciju 16MnCr5 (Č.4320) a za sve zupčanike sa unutrašnjim ozubljenjem čelik za poboljšanje 42CrMo4 QT (Č.4732). Usvojene vrednosti za trajnu dinamičku izdržljivost bokova zubaca σ_{Hlim} i trajnu dinamičku izdržljivost podnožja zubaca σ_{Flim} prikazane su u tabeli III [5].

Tabela III *Karakteristike materijala za zupčanike*

Materijal	$\sigma_{Hlim}\left[\frac{N}{mm^2}\right]$	$\sigma_{Flim}\left[\frac{N}{mm^2}\right]$
16MnCr5 (Č.4320)	1500	430
42CrMo4 QT (Č.4732)	650	280

Pre samog proračuna geometrije zupčanika izvršeno je ručno izračunavanje i usvajanje standardnog modula zupčanika za izabrane materijale prema formuli (4) [7], usvojene su početne širine zupčanika i nulta osna rastojanja. Ove vrednosti su prikazane u tabeli IV. Širina zupčanika i nulto osno rastojanje se u daljem proračunu podešavaju prema dobijenim vrednostima stepena sigurnosti i koeficijenata pomeranja profila.

$$m_n \geq 1{,}85 * \sqrt[3]{\frac{T_1 * K_A * cos^2\beta * K_\gamma}{z_1^2 * \psi_{bd1} * \sigma_{Flim} * n_w}} \qquad (4)$$

Tabela IV *Početne geometrijske veličine zupčanika*

Stepen prenosa	Prvi	Drugi	Treći
Modul zupčanika (mm)	m_{n1}=1,5	m_{n1}=1,5	m_{n1}=2,5
Širina zupčanika (mm)	b_1=10	b_1=15	b_1=25
Nulto osno rastojanje (mm)	a_{d1}=27	a_{d2}=29,5	a_{d3}=56,25

Proračun zupčanika ovog prenosnika izvršen je prema datim podacima u programskom paketu KissSoft. Ovaj program je namenjen za proračun i analizu prenosnika i daje automatski generisane izveštaje o geometriji, nosivosti podnožja i boka zubaca kao i 3D modele zupčanika. Moduli i širine zupčanika izračunati pre samog proračuna su korigovani prema dobijenim podacima proračuna i podešeni da bi se dobili zadovoljavajući rezultati stepena sigurnosti bokova i podnožja zubaca. Potrebno je posebno obratiti pažnju na koeficijente pomeranja profila i podesiti ih tako da se dobije pozitivno pomeranje na centralnim sunčanim zupčanicima jer se time smanjuje moguće podsecanje profila zubaca [7]. Ovim proračunom dobijene su sledeće geometrijske veličine zupčanika ovog prenosnika prikazane u tabeli V.

Tabela V Dobijene *geometrijske veličine zupčanika*

Naziv veličine	I stepen / II step. / III step.	Centralni sunčani zupčanik	Satelit	Centralni venčani zupčanik
Modul (mm)		1,5	1,5	2,5
Prečnik podeone kružnice d (mm)		18	36	-90
		27	31,5	-90
		37,5	75	-187,5
Prečnik osnovne kružnice db (mm)		16,914	33,829	-84,572
		25,372	29,6	-84,572
		35,238	70,477	-176,192
Prečnik kinematske kružnice dw (mm)		18,667	37,333	-93,333
		27,692	32,308	-92,308
		38	76	-190
Prečnik podnožne kružnice df (mm)		15,805	32,945	-96,694
		24,175	28,459	-96,092
		33,080	68,492	-195,065
Prečnik temene kružnice da (mm)		22,305	39,445	-89,944
		30,791	35,075	-89,342
		44,258	79,670	-183,815
Širina zupčanika b (mm)		12	10	12
		28	25	28
		35	30	35
Stepen sigurnosti boka S_H		1,11	1,34/2,35	1,43
		1,01	1,17/1,92	1,14
		1,03	1,28/2,74	1,58
Stepen sigurnosti podnožja S_F		4,97	2,86/3,39	4,54
		2,41	1,50/2,01	2,35
		2,15	1,45/2,11	2,37

4. ZAKLJUČAK

Izbor planetarnog prenosnika za električno vučno vitlo terenskog vozila kao što je u ovom primeru Warn 9.5XP je dobar iz razloga što omogućuje da svi elementi vitla budu u istoj osi. Sam prenosnik vrši prenos kretanja preko više grana (satelita) koji se nalaze unutar ozubljenog venca. Ovo bi u klasičnom prenosniku bio samo veliki zupčanik pored koga je potrebno još elemenata pa se konstrukcija znatno uvećava. Samim tim ovaj prenosnik je manjih dimenzija od klasičnog i time doprinosi kompaktnijoj konstrukciji.

Razvoj jednog ovakvog prenosnika počinje analizom radnih uslova i nominalnih opterećenja. Teorijskim razmatranjem se ne mogu predvideti stvarni radni uslovi nekog proizvoda i zbog toga se koristi faktor radnih uslova. Njegova uloga je da uveća predviđena nominalna opterećenja, čime dobijamo merodavna opterećenja sa kojima vršimo proračun svih elemenata. Kada postoji prototip, koji se može testirati, utvrđuju se stvarna opterećenja tokom eksploatacije i sam faktor se onda može zanemariti. Tokom razvoja prototipa ovaj faktor ima veliki značaj.

Jedan specifični faktor u razvoju planetarnih prenosnika je faktor raspodele opterećenja između satelita koji uvećava računsko opterećenje po granama za izračunavanje elemenata prenosnika. On se uvodi zbog grešaka pri izradi elemenata prenosnika koje dovode da se opterećenje ne deli ravnomerno između satelita. Tokom koncipiranja prenosnika konstruktor mora da obezbedi konstrukciono rešenje za ravnomerniju raspodelu opterećenja između satelita. Ovim se omogućuje usvajanje manjeg faktora raspodele opterećenja a samim tim će i dimenzije prenosnika biti manje.

Kao moguće poboljšanje u daljem razvoju planetarnog prenosnika koji bi se koristio za vitlo kao što je Warn 9.5XP potrebno je uraditi ovaj proračun sa više vrsta kvalitetnijih i izdržljivijih materijala za zupčanike. Potom uporediti dobijene rezultate i izabrati one koji su najbolji. Bilo bi dobro, na jednom prototipu, ispitati stvarna mehanička opterećenja koja deluju na vitlo i sam prenosnik u radnim uslovima i kasnije izvršiti upoređivanje sa trenutno poznatim teorijskim opterećenjima. Sve ovo bi imalo za cilj umanjenje gabaritnih dimenzija samog prenosnika i smanjenje mase što automatski dovodi do kompaktnije i laganije konstrukcije samog vitla.

LITERATURA

[1] M. Stevanović, „Razvoj trostepenog planetarnog prenosnika za vučno vitlo terenskog vozila“, Diplomski rad, Mašinski fakultet Niš, Univerzitet u Nišu, Niš, 2024.

[2] D. Stavljenić, J. Hoster, A. Sušić i I. Skozrit, „Konstruiranje 3-brzinskog prijenosnika u glavini stražnjeg kotača bicikla“, Sustavi, vol. 8, pp. 12-22, 2022.

[3] I. Galić, „Konstrukcija rješenja planetarnog prijenosnika“, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2016.

[4] M. Vugrinec, „Planetarni prijenosnik vjetrogeneratora“, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2018.

[5] J. S. Marinović, Mehanički prenosnici – Planetarni prenosnici, Niš: Mašinski fakultet Niš 2017.

[6] „9.5XP Winch – 68500“, Warn International. [online]. Available: https://international.warn.com/95xp-winch-68500 (pristuljeno: 15.08.2025.)

[7] D. Milčić, M. Banić, A. Miltenović i M. Milčić, Mašinski elementi, Niš: Mašinski fakultet Niš 2015.

PRIMENA CNC GLODANJA U PROIZVODNJI ČEPA OD MEDIJAPANA

APPLICATION OF CNC MILLING IN THE PRODUCTION OF CAPS FROM MEDIAPAN

Milan Nikolić, Milan Banić

Sadržaj – Ovaj rad prikazuje primenu CNC glodanja u izradi funkcionalnog čepa od medijapana uz korišćenje troosne CNC glodalice i Mach3 upravljačkog sistema. Analizirane su karakteristike medijapana kao kompozitnog materijala, kao i specifičnosti njegove obrade u poređenju sa metalima i polimerima. Proces je planiran kroz dve faze – grubu i završnu obradu – uz detaljan izbor parametara poput brzine vretena, posmaka i dubine reza. Eksperimentalni deo obuhvatio je testiranje više režima obrade, pri čemu su praćene vibracije i kvalitet površine. Dimenziona tačnost proverena je mernim instrumentima i odstupanja su bila u granicama ±0,1 mm, što je u potpunosti zadovoljavajuće za praktičnu primenu. Rezultati su pokazali da pravilno definisana strategija obrade omogućava stabilan proces, produženje veka alata i visoku ponovljivost kvaliteta. Rad takođe naglašava značaj simulacije i verifikacije putanja alata u Mach3 okruženju kao ključne faze za prevenciju kolizija i optimizaciju procesa. Zaključeno je da CNC glodanje predstavlja efikasnu metodu za izradu delova od medijapana, kao i da se primenom odgovarajućih parametara mogu postići visoka tačnost i kvalitet površine.

Ključne reči: CNC obrada, Mach3, medijapan, ravno glodalo, optimizacija procesa

Abstract – This paper presents the application of CNC milling in the production of a functional MDF cap using a three-axis CNC milling machine operated through the Mach3 control system. The study examines the specific properties of MDF as a composite wood-based material and the requirements it imposes during machining, especially in contrast to metals and polymers. The machining process was divided into roughing and finishing phases, with emphasis on selecting optimal technological parameters such as spindle speed, feed rate, and depth of cut. Experimental testing included several combinations of these parameters, accompanied by continuous monitoring of surface quality, dimensional accuracy, vibrations, and thermal effects. Measurements confirmed deviations within ±0.1 mm, indicating that the applied machining strategy meets the functional and dimensional demands of the final component. The results show that proper CNC process planning ensures stable operation, high-quality machined surfaces, and increased tool life. The integration of CAM simulation and Mach3 toolpath verification proved crucial for collision prevention and process optimization. The study concludes that CNC milling represents a reliable, efficient, and precise technological approach for manufacturing MDF components.

1. UVOD

Primena savremenih tehnologija obrade, kao što je CNC glodanje, omogućila je povećanje preciznosti, ponovljivosti i efikasnosti u proizvodnim procesima različitih industrijskih sektora. Posebno značajno mesto zauzima obrada kompozitnih materijala na bazi drveta, kao što je medijapan (MDF), koji se sve češće koristi u proizvodnji konstruktivnih i funkcionalnih elemenata zbog svoje stabilnosti, homogenosti i jednostavnog oblikovanja. U ovom radu analiziran je proces izrade čepa od medijapana na troosnoj CNC glodalici uz primenu Mach3 [1] upravljačkog sistema, sa naglaskom na izbor parametara obrade, planiranje tehnološkog procesa i evaluaciju kvaliteta dobijenog proizvoda.

Čep predstavlja funkcionalni mehanički element koji se ugrađuje u predviđeni otvor na mašini. Geometrijski je definisan kao pravougaoni blok sa centralnim cilindričnim otvorom i zaobljenim ivicama, što zahteva pažljivo planiranje putanja alata i višefaznu obradu.

Milan Nikolić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milan.nikolic@akademijanis.edu.rs).

Milan Banić, Mašinski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš (imejl: milan.banic@masfak.ni.ac.rs).

Specifičnosti materijala, kao i zahtevi za tačnošću, ukazuju na potrebu za adekvatnim prilagođavanjem procesa kako bi se dobio deo visokog kvaliteta i dugog radnog veka.

2. MATERIJALI, METODE I EKSPERIMENT

2.1 Karakteristike medijapana kao materijala

Medijapan [2] je kompozitni materijal izrađen presovanjem drvenih vlakana uz dodatak lepkova, pri čemu se dobija homogena ploča pogodna za obradu glodanjem. Međutim, zbog strukture na bazi vlakana, tokom obrade lako dolazi do lokalnog zagrevanja i drobljenja ivica ukoliko parametri nisu pravilno podešeni. Zato je od izuzetnog značaja definisanje optimalnih vrednosti brzine rezanja, posmaka, dubine reza i broja obrtaja.

2.2 Upotrebljena oprema

Proces izrade realizovan je na troosnoj CNC glodalici opremljenoj Mach3 softverom. Za obradu je korišćeno ravno glodalo prečnika 4 mm, koje omogućava postizanje finih detalja i visoke tačnosti dimenzija. CAM softver korišćen je za generisanje putanja alata, dok je Mach3 iskorišćen za simulaciju i finalnu realizaciju procesa.



Slika 1. *3- osna CNC mašina*

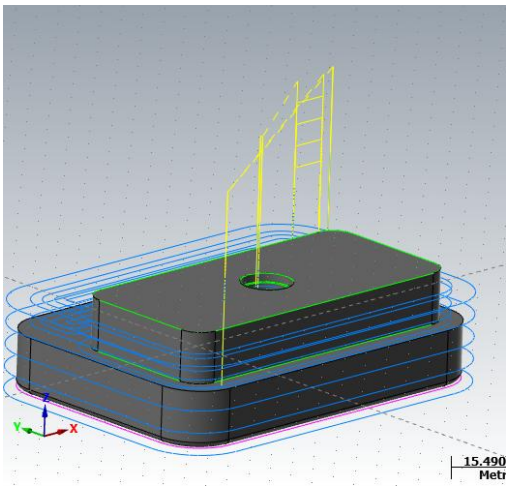
Na slici 1 je prikazana troosna CNC glodalica na kojoj je realizovana obrada čepa od medijapana. Konstrukcija mašine obezbeđuje dovoljnu krutost i stabilnost sistema tokom obrade, što je od posebnog značaja kod obrade kompozitnih materijala na bazi drveta.

2.3 Planiranje procesa obrade

Obrada je sprovedena u dve glavne faze:

1. Gruba obrada – uklanjanje većine materijala slojevima dubine 1,5–2 mm pri posmaku od 250–300 mm/min.
2. Završna obrada – obrada kontura i definisanje glatkih površina uz manji posmak i finalno podešavanje dubine.

Na slici 2 prikazan je trodimenzionalni CAD model čepa, zajedno sa generisanim putanjama alata za grubu i završnu obradu. Simulacija omogućava verifikaciju geometrije, redosleda operacija i dubina rezanja, kao i identifikaciju potencijalnih kolizija alata sa obratkom ili steznim elementima. Ovaj korak je ključan za optimizaciju vremena obrade i prevenciju grešaka pre realizacije na realnoj CNC mašini.



Slika 2. *Simulacija putanje alata i 3D model dela za izradu*

2.4 Parametri obrade

Eksperimentalno su testirane različite kombinacije [3] posmaka i dubine reza kako bi se utvrdili optimalni uslovi rada. Posle više isprobanih kombinacija i napravljenih komada dobijeno je da kombinacija:

- brzina vretena: 12.000 o/min,
- posmak: 250–300 mm/min,
- dubina reza po prolazu: 1,5–2 mm, daje najbolje rezultate u pogledu glatkoće površine, stabilnosti procesa i trajanja alata.

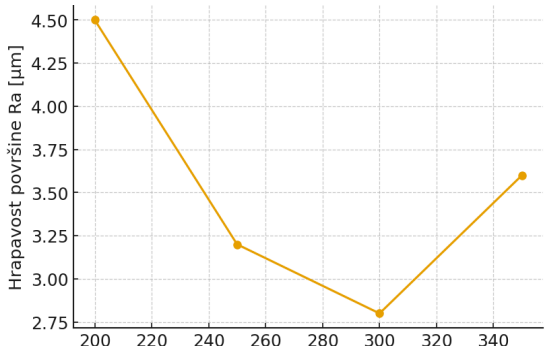
Praćeni su i akustični signali i vibracije tokom obrade, jer oni ukazuju na pojavu opterećenja alata, nepravilnog sečenja ili prekomernog zagrevanja. Ove pojave naročito su važne kod medijapana, gde se degradacija materijala javlja znatno brže nego kod metala.

2.5 Rezultati merenja

Dimenziona tačnost izrađenog čepa proverena je kljunastim pomičnim merilom i komparaterom. Utvrđena su odstupanja od ±0,1 mm, što je u potpunosti prihvatljivo za funkcionalnu ugradnju. Površina obrađenog dela bila je glatka, bez raslojavanja ili kidanja ivica, što potvrđuje adekvatnost izabranih parametara i strategije obrade.

2.6 Analiza kvaliteta površine

Kvalitet površine procenjivan je vizuelno i profilometrom. Kod kompozitnih materijala posebno se prati pojava mikropukotina i drobljenja ivica, što nije primećeno u završnim obradama, dok se minimalna oštećenja javljaju isključivo u gruboj fazi, ali u okviru očekivanih granica.



Slika 3. *Dijagram zavisnosti hrapavosti površina i brzine posmaka*

Na slici 3 je prikazan uticaj promene brzine posmaka na vrednosti parametra hrapavosti površine obrađenog čepa. Uočava se trend povećanja hrapavosti sa porastom posmaka, što je posledica smanjenog vremena kontakta alata sa materijalom i povećanog opterećenja rezne ivice. Ovi rezultati potvrđuju značaj pravilnog izbora režima obrade za postizanje optimalnog kvaliteta površine kod obrade MDF-a.

3. DISKUSIJA

Rezultati istraživanja pokazuju da pravilno definisana strategija CNC obrade [4, 5] omogućava dobijanje proizvoda visoke tačnosti i kvaliteta. Posebno je važno istaknuti:

- značaj kombinacije simulacije i praktične obrade u Mach3 okruženju,
- uticaj geometrije alata na kvalitet površine,
- potrebu za kontrolom zagrevanja pri obradi medijapana,
- značaj pravilne interpolacije pri izradi cilindričnih otvora.

Komparativnom analizom utvrđeno je da se CNC obrada medijapana značajno razlikuje od obrade metala, pre svega zbog načina formiranja strugotine, otpornosti materijala i termičke stabilnosti. Međutim, primenom pravilno definisanih parametara, moguće je postići rezultate koji zadovoljavaju kriterijume industrijske primene. Detaljna analiza parametara i sila rezanja prilikom obrade medijapana na CNC mašinama kao i optimalne parametre kod izrade nameštaja je prikazana u [6, 7].

4. ZAKLJUČAK

Sprovedeno istraživanje pokazalo je da CNC glodanje medijapana pomoću Mach3 sistema predstavlja efikasnu, ekonomičnu i pouzdanu tehnologiju za izradu funkcionalnih mašinskih elemenata. Predložena strategija obrade omogućila je visok nivo tačnosti, dobar kvalitet površine i stabilan rad procesa bez pojave značajnih vibracija ili habanja alata.

U budućim istraživanjima preporučuje se:

- analiza uticaja različitih tipova glodala i premaza,
- optimizacija parametara putem naprednih metoda,
- proučavanje uticaja vlažnosti i gustine medijapana na kvalitet obrade.

Dobijeni rezultati doprinose boljem razumevanju kompleksnosti obrade kompozitnih materijala i predstavljaju osnov za dalja praktična i teorijska istraživanja u oblasti CNC tehnologija.

LITERATURA

[1] Mach3 CNC Control Software – Dokumentacija i korisničko uputstvo, ArtSoft, 2023.

[2] Davim, J. P. (Ed.). Wood Composites: Materials, Manufacturing, and Engineering. Springer, 2021.

[3] Kalpakjian, S., Schmid, S. R. Manufacturing Engineering and Technology. Pearson, 2017.

[4] Groover, M. P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. Wiley, 2020.

[5] Smid, P. CNC Programming Handbook. Industrial Press, 2016.

[6] Hanincová et al „Comparative Analysis of Cutting Forces in CNC Milling of MDF: The Role of Tool Coatings, Cutting Speed and Feed per Tooth” —., 2024.

[7] Kopecký, Hlásková i saradnici „Cutting Forces in Quasi-Orthogonal CNC Milling” —, Wood Research, 2019.

KONCEPTUALNI DIZAJN U RAZVOJU PROIZVODA ELEKTRIČNE BICIKLE
CONCEPTUAL DESIGN IN ELECTRIC BICYCLE PRODUCT DEVELOPMENT

Miloš Ristić, Milan Pavlović, Lazar Bekčić, Aleksandar Petrović i Stefan Miljković

Sadržaj – Glavna motivacija za ovaj rad nalazi se u težnji autora da odgovore na problem pronalaženja jednostavnog i jeftinog modela transporta studenata u gradskim sredinama. Identifikovani problemi poput gužvi u saobraćaju, nedostatka pakring mesta, kao i visok nivo buke i emisije gasova usled sagorevanja fosilnih goriva, mogu biti rešeni razvojem jednog proizvoda kao što je elektični bicikl. Konceptualni razvoj proizvoda je prva faza u ovom procesu, gde se ideje pretvaraju u konkretna varijantna rešenja. Cilj rada je da se istraže i analiziraju ključni faktori, metodologije i procesi koji utiču na uspešno stvaranje inovativnog i potencijalno komercijalno održivog proizvoda na tržištu. Na taj način identifikovana su neka rešanja poput bicikla kao ekološkog prevoznog sredstva. Kako bi proizvod odgovorio na zahteve za bržim kretanjem i savladavanjem uspona, neophodno je razmišljati o obezbeđivanju potrebne snage i izvora odakle će se dobiti. U ovom radu biće prikazan konceptualni razvoj proizvoda sa konkretnim rešenjima koja su dovela do izrade prototipa električne bicikle.

Ključne reči: Konceptualni razvoj proizvoda, Električna bicikla, Primena CAD alata, Ekološki proizvod.

Abstract – The main motivation for this work lies in the author's desire to answer the problem of finding a simple and cheap model of student transportation in urban areas. Identified problems such as traffic jams, lack of parking spaces, as well as high levels of noise and gas emissions due to the burning of fossil fuels, can be solved by developing a single product such as an electric bicycle. Conceptual product development is the first stage in this process, where ideas are transformed into concrete variant solutions. The aim of the paper is to investigate and analyze the key factors, methodologies and processes that influence the successful creation of an innovative and potentially commercially viable product on the market. In this way, some solutions were identified, such as the bicycle as an ecological means of transportation. In order for the product to respond to the requirements for faster movement and overcoming the slope, it is necessary to think about providing the necessary power and the source from where it will be obtained. This paper will show the conceptual development of the product with concrete solutions that led to the creation of a prototype electric bicycle.

Keywords: Conceptual product development, Electric bicycle, CAD tools Application, Eco-friendly product.

1. UVOD

Život u urbanim sredinama često je praćen problemom pronalaženja adekvatnog prevoznog sredstva. Probleme korisnicima predstavljaju ne samo saobraćajne gužve već i parkirališta. Pored toga, konvencionalna prevozna sredstva emituju visok stepen emitovanja zagađenja u vazduh, kao i povišenog nivoa buke [1]. Iz tog razloga je zadatak autora bio da pronađu odgovarajuće rešenje koje će odgovoriti gore navedenim zahtevima ali i biti ekonomski isplatimo. Električni bicikl prepoznat je kao odgovarajuće rešenje.

Danas tržište električnih bicikala (e-bicikala) doživljava eksponencijalni rast širom sveta, podstaknuto globalnim trendovima kao što su urbanizacija, ekološka svest i potražnja za efikasnim i održivim rešenjima za transport [2]. Izazovi u razvoju ovih proizvoda su brojni. Konceptualni dizajn staviće akcenat na ključne komponente u razvoju ovog proizvoda poput:

Miloš Ristić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milos.ristic@akademijanis.edu.rs).

Milan Pavlović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milan.pavlovic@akademijanis.edu.rs).

Lazar Bekčić, Aleksandar Petrović, Stefan Miljković, bivši studenti Akademije tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: beckic.laki95@gmail.com, stojkonba@gmail.com, aleksandar.petrovic@vtsnis.rs).

- pogonskog sistema (analiza različitih tipova motora, baterija i njihove integracije u funskcionalnu celinu),
- konstrukcije rama (izobr materijala, ali i dizajna rama u cilju optimizacije mase, čvrstoće i estetike)
- ergonomije kao i inovativnih odlika proizvoda (senzori, GPS, i sl.).

2. PROCES PROJEKTOVANJA I KONSTRUISANJA PROIZVODA

Iako troškovi procesa projektovanja i konstruisanja proizvoda učestvuju u malom delu ukupne cene proizvoda, odluke koje se donose tokom ovog procesa (Slika 1) utiču na značajan deo ukupnih troškova u stvaranju novog proizvoda i od suštinske su važnosti za tržišni uspeh ili neuspeh novog proizvoda [3].

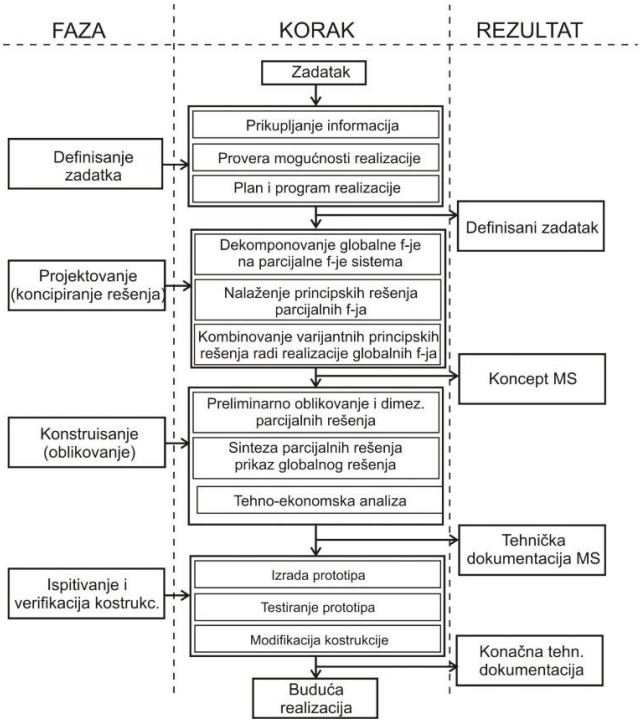
Zbog toga je važno da se uspostavi koncept projektovanja proizvoda u kome se istovremeno integriše široki spektar konstrukcionih, tehnoloških, ekonomskih i drugih zahteva, u cilju smanjenja vremena i troškova razvoja, ali i povećanja kvaliteta i vrednosti proizvoda [4].

Proces projektovanja i konstruisanja (PPK) najčešće se prikazuje u vidu dijagrama toka, kao na slici 1. Ovakva struktura PPK odnosi se na mašinogradnju, metalsku i metaloprerađivačku industriju, a proces se odvija u 4 faze i to: Faza definisanja zadatka; Faza projektovanja; Faza konstruisanja; i Faza ispitivanja i verifikacije konstrukcije [5].

Aktivnosti u okviru svake faze su u osnovi iste i čine mikro strukturu PPK. Počinje se prikupljanjem informacija potrebnih za rešavanje problema. Zatim se na osnovu tih informacija i raspoloživih metoda nalazi rešenje ili koncept rešenja.

Na kraju svake faze vrši se provera rešenja koja rezultuje izradom dokumentacije ili popravkom rešenja.

Rezultat jedne faze predstavlja ulaz za narednu fazu. Obično zadatak koji se rešava u toku neke faze nije jednoznačno određen, tako da se dobija više varijanti rešenja, od kojih se bira optimalno.



Slika 1. *Struktura procesa projektovanja i konstruisanja mašinskog sistema [6]*

Ukoliko nijedno rešenje ne zadovoljava definisani sistem kriterijuma, vrši se povratak na neku od prethodnih faza PPK.

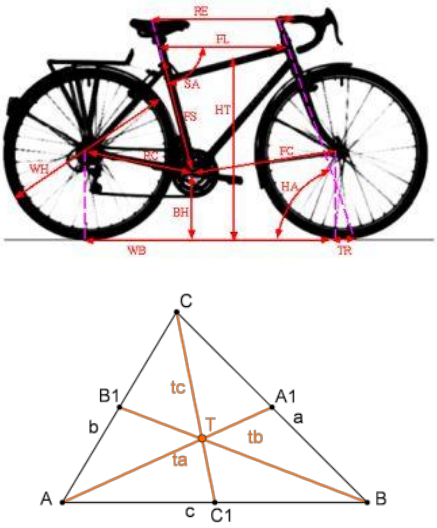
3. KONCEPTUALNI RAZVOJ PROIZVODA

Nakon što se zadatak u potpunosti definiše, prikupe se potrebne činjenice i provere se mogućnosti realizacije, dolazi se do druge faze u kojoj se kroz konceptualni razvoj proizvoda ideje definišu, oblikuju i proveravaju kroz funkcionalne modele, skice ili 3D modele pre tehničke realizacije [7]. Cilj konceptualnog razvoja je definisanje funkcionalnosti, mogućih
inovacija i predlaganje varijantnih rešenja. U konceptualnom razvoju proizvoda električne bicikle primenjena su tri ključna aspekta:

- Identifikaciju potreba korisnika,
- Generisanje ideja, i
- Analiza i ocena koncepta.

Sagledavanjem bicikla kao potencijalnog rešenja problema, biće izvršena analiza potencijalnog koncepta proizvoda sa aspekta njegove bezbednosti ali i razumevanja glavnih odlika proizvoda poput težišta i položaja karakterističnih tačaka, kao na slici 2 [8].

S obzirom na to da je bicikl veoma izbalansirano prevozno sredstvo na čiju upotrebu faktor ravnoteže ima veliku važnost, detaljnom analizom prepoznali smo da kutija sa izvorom napajanja i kontrolerom bude pozicionirana blizu težišta.



Slika 2. *Grafički prikaz težišta bicikla*

3.1. Identifikacija potreba korisnika

Razvoj proizvoda zasnovan je na tržišnoj potrebi koja se po pravilu definiše na dva načina: istraživanju tržišta i pronalaženjem rešenja za određeni problem, i direktnim zahtevom kupca [9].

Rešavanjem identifikovanih problema od strane studenata poput: gužvi u saobraćaju, nedostatka parkirališta i parking mesta, kao i visok stepen emisije gasova usled sagorevanja fosilnih goriva u motorima i povećanog nivoa buke, prepoznat je bicikl kao prevozno sredstvo koje može da adekvatno reši gore navedene probleme.

Daljom analizom potencijalnih korisnika, uočeno je da problemi u savladavanju uspona kao i duže relacije mogu negativno uticati na biciklistu. Kao unapređenje bicike prepoznata je mogućnost nadogradnje električnim motorom i stvaranje određenog hibridnog modela gde bi pored ljudske snage i prenosa preko pedala i lanca, bicikl bio pomognut i elektromotorom.

Sve ovo doprinelo je da se definiše početni proizvod električni bicikl u obliku:

- Proizvod električni bicikl jeste prevozno sredstvo koje ima dve funkcije, a to su prevoz od tačke A do tačke B i služi za rekreaciju.
- Tip električne bicikle jeste gradski bicikl sa ramom.
- Točkovi treba da imaju dovoljnu veličinu i odgovorajuće pneumatike kako bi tokom vožnje što manje energije bilo utrošeno na trenje, a bicikl bio bezbedan.

- Elektromotor snage 250 – 350W može biti korišćen za pogon.

Na osnovu ovog opisa, kreiran je konceptualni 3D model bicikle koji je kasnije modifikovan ka konačnom modelu proizvoda, što je i prikazano slikom 4 [10].



Slika 4. *3D model rama bicikla [10]*

3.2. Generisanje ideja

Opisani i prvodefinisani proizvod sada ulazi u sledeću podfazu. Problem pronalaženje rešenja zahteva da se prvo ideje generišu. U tom procesu korisno je primeniti određene metodologije kao što su brainstorming i benchmarking.

I dok brainstorming predstavlja proces nabacivanja ideja bez primarne kritike istih, benchmarking predstavlja uporednu analizu merenja i upoređivanja poslovnih procesa, proizvoda ili usluga jedne kompanije sa najboljim konkurentima ili liderima u industriji. Primenom ova dva koncepta uspešno su unapređivane ideje i stvarana prva rešenja koja su oblikovala proizvod. Sve to dovelo je da se prvobitni koncept proizvoda unapredi na sledeći način:

- Ram električne bicikle je gradski bicikl, standardnog oblika jer dobro može da obezbedi prostor za smeštaj baterije i kontrolera, prikazan na slici 5.



Slika 5. *Ram bicikle sa kutijom*

- Točkovi su dimenzije 26 inča sa tankim glatkim pneumaticima, kako bi tokom vožnje što manje energije bilo utrošeno na trenje.
- U zadnji točak može se ugraditi elektromotor snage 250 – 350W koji može dostići dovoljan broj obrtaja da se bicikla kreće brzinom od 40km/h. Zadnji točak zbog toga treba ojačati.
- Potrebno je prepoznati odgovarajući kontroler kojim bi se kontrolisalo ubrzanje, brzina i drugi potrebni parametri, pre svega sa aspekta bezbednosti, a zatim i optimizacije performansi bicikle.
- Izvor napajanja treba da bude stabilan i pouzdan.

3.3. Analiza, ocena i vrednovanje koncepta

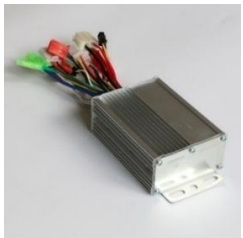
Kako bi se vršila ocena i vrednovanje određenog koncepta, potrebno je prethodno definisanti kriterijume i njihov važnost (težinski faktor) kako bi se jasno donela odluka prema funkciji cilja. Glavni kriterijum bio je cena, jer je suštinski električni bicikl bio namenjen studentima i kao takav treba da bude inovativan ali i ekonomski prihvatljiv. Sve to doprinelo je da:

- Ram električne bicikle treba biti izrađen od aluminijuma. To bi znatno smanjilo masu proizvoda i olakšalo upravljivost. Problem sa aluminijumskim ramom je što je on skuplji od čeličnog rama. Takođe, s obzirom na potrebu da ram modikujemo dogradnjom kutije za smeštaj izvora napajanja, baterija i kontrolera, zavarivanje aluminijuma je znatno teže nego zavarivanje čeličnih šipki. Zbog toga ovde pored cene, problem zavarljivosti konstrukcije predstavlja veliki izazov i ukazuje da ram bicikle bude čelični. Karbonski ram zbog visoke cene nije razmatran.
- Točkovi su dimenzije 26 inča sa tankim glatkim pneumaticima dimenzija 26×1,50 kako bi tokom vožnje što manje energije utrošilo na trenje (kotrljanja).
- Obruči točkova su sa duplim zidom koji je duplo jači po pitanju udaraca na rupe. Materijal od koga su izrađeni obruči točkova točkovi jeste aluminijum.
- Zadnji točak koji u sebi ima elektromotor treba ojačati. Zbog toga će prednji točak imati žice debljine 2mm a zadnji točak žice prečnika 3mm.



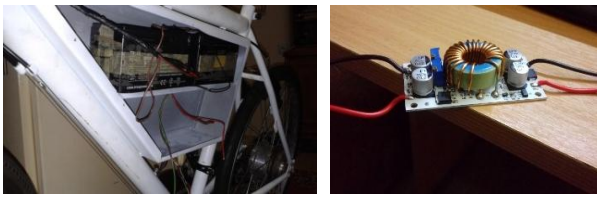
Slika 6. *Prednji i zadnji (ojačani) točak bicikle*

- Za kontrolu celog sistema prepoznat je Universal brasles controller 250-350W 36V prikazan na slici 7. Pomoću njega se može kontrolisati ubrzanje, brzina, postaviti tempomat, motorno kočenje itd. Snaga kontrolera koja se isporučuje je od 250W do 350W sa naponskim ograničenjima od 36V do 48V. Kontrola se vrši ručicom za gas koja daje određene impulse kontroleru, gde se ti impulsi u čipu kontrolera pretvaraju u određeni napon koji se šalje elektromotoru.



Slika 7. *Kontroler 36V-48V 350W*

- Električni bicikl koncipiran je da može postići veće ubrazanje ukoliko se istovremeno pedalira i dodaje gas na ručici. Time bicikl dobija na snazi a uz smanjenje otpora motora i bolje raspodele snaga čime se obezbeđuje prelaženje veće distance.
- Potencijalni izvori napajanja tokom konceptualnog dizajna bili su brojni. Prepoznati su solarni paneli ali nisu bili dovoljno efikasni. Zatim su razmatrane gorive ćelije koje nisu široko dosupne. Potencijalno visoku ocenu dobile su litijum-jonske baterije, ali su cenovno bile neprihvatljive. Tako da je odluka pala da izvor napajanja budu tri akumulatora kapaciteta 7,2Ah sa naponom 12V-14,1V. Akumulatori su zatvorenog tipa i suvi su, što pruža mogućnost smeštanja u bilo koji položaj. Spajanjem tri akumulatora dobija se radni napon u rasponu od 36V-42,3V i 7,2Ah (Slika 8) [10].
- Punjenje se vrši pomoću adaptera ulaznog napona 110V-220V 50-60Hz, izlaznog napona 40V 2A. Dobijeni napon dalje se pojačava step-up busterom ulaznog napona 40V 2A i izlaznog napona 46V 1,5A. Buster u elektronskoj konstrukciji sadrži sigurnosna kola od opterećenja do 10A i isto tako sadrži mehaničke potenciometre za podešavanje izlaznih parametara (napon i struja) (Slika 8) i odgovara standardu EN 15194:2017 [11]. Na busteru se nalazi usmerivačka dioda i glavni čip za balansiranje svih tipova baterija.



Slika 8. *Akumulatori 7.2 Ah 3×12V i Kontroler punjenja 50V*

- Kućište baterije je jedan od najtežih komponenti koje se treba napraviti. Napravljena je od savijenog U profila i metalne ploče (Slika 9) [10]. Sa jedne strane je kućište spojeno zavarenim spojem, dok je sa druge strane postavljeno zavrtnjevima za metal. Sama kutija je napravljena da dobro prianja uz sam ram bicikle i pričvršćena zavrtnjevima i navrtkama u tri pozicije.



Slika 9. *Kućište za baterije montirano na ram bicikle.*

4. ZAKLJUČAK

Konceptualni dizajn prikazan u razvoju električne bicikle postavio je osnov da se izradi prototip električne bicikle. Izazovi u izboru pogonskog sistema ovog hibridnog modela koji kombinuje ljudsku snagu sa snagom elektromotora bili su brojni. Model koji je prepoznat kao optimalan obezbeđuje da se elektromotor direktno ugradi u zadnji točak i integriše na zadnju osovinu sa gonjenim zupčanicima.

Standardna konstrukcija čeličnog rama obezbedila je lakšu montažu izvora napajanja sa ramom, ali je i povećala masu konstrukcije na gotovo 40 kg.

Predloženi konceptualni dizajn električne bicikle uspešno rešava problem saobraćajnih gužvi i parkiranja u urbanim sredinama uz smanjennje emisije CO_2 i nivoa buke. Takođe, ekonomski posmatrano, predstavlja prilično dostupno rešenje za modifikaciju običnih bicikli u hibridne električne bicikle.

ZAHVALNICA

Ovaj rad proistekao je iz ideje studenata tokom realizacije predmeta Mašinski elelmenti. Uspešan projektni zadatak kasnije je pretvoren u tri završna rada. Projekat je realizovan radom u Laboratorijij naprednih tehnologija i Laboratoriji za mašine i materijale, na čemu su autori veoma zahvalni.

LITERATURA

[1] M. Thondoo, O. Marquet, S. Márquez, M.J. Nieuwenhuijsen, „Small cities, big needs: Urban transport planning in cities of developing countries", Journal of Transport & Health Volume 19, December 2020.

[2] Lishengsa Yue, Mohamed Abdel-Aty, Mohamed H. Zaki, Ou Zheng, Yina Wu, Bo Yu. „Understanding e-bicycle overtaking strategy: insights from inverse reinforcement learning modelling" Transportmetrica A: Transport Science Vol. 20, 2024 - Issue 2.

[3] Manic M., Miltenovic V., Stojkovic M., Banic M., "Feature Models in Virtual Product Development", Strojišni vestnik, 56 (3). 2010.

[4] Ristić M., Manić M., Cvetanović B., Pavlović M., Kosanović M., „Projektovanje proizvoda sa aspekta tehnologičnosti: primer zupčastog prenosnika". INFOTEH-JAHORINA Vol. 15, pp.452-455, March 2016.

[5] Verein Deutscher Ingenieure e.V. VDI-Richtlinie 2222 Blatt 1: Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien; Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1997.

[6] Ristić M., „Projektovanje i konstrukcija pužnog reduktora za zatvaranje leptirastog zatvarača", Diplomski rad, Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 2005.

[7] Pavlović M, Ristić M, „Primena CAD softvera u procesu projektovnaja medicinskih uređaja", Zbornik radova Visoke tehničke škole strukovnih studija, str. 77-80, Niš, 2016.

[8] Petrović A. „Projektovanje i montaža proizvoda na primeru električne bicikle" Završni rad, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Niš, Niš, Septembar 2020.

[9] Ristić M, Projektovanje proizvoda sa aspekta tehnologičnosti, Magistarski rad, Mašinski fakultet u Nišu, Niš, 2012.

[10] Bekčić L., „Razvoj 3D modela proizvoda Električne bicikle". Završni rad, Visoka tehnička škola strukovnih studija Niš, Niš, Decembar 2017.

[11] SRPS EN 15194, Bicikli – Bicikli na električni pogon – EPAC bicikli, 2017.

ANALIZA UTICAJA CAD-STL I CAD-OBJ KONVERZIJE NA DIMENZIJE PROIZVODA IZRAĐENOG TEHNOLOGIJOM 3D ŠTAMPE

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CAD-STL AND CAD-OBJ CONVERSION ON THE DIMENSIONS OF THE 3D PRINTED PRODUCT

Milan Pavlović, Miloš Ristić

Sadržaj – Aditivna proizvodnja ima široku primenu zbog svoje fleksibilnosti, ekonomičnosti i mogućnosti izrade proizvoda složenih geometrija. Jedan od ključnih koraka u digitalnom toku aditivne proizvodnje predstavlja konverzija parametarskih CAD modela u formate koji su pogodni za obradu u softverima za pripremu štampe. Najčešće korišćeni formati u praksi su STL i OBJ, koji se zasnivaju na poligonalnoj aproksimaciji geometrije i samim tim uvode određene aproksimacione greške. U ovom radu je prikazan uticaj konverzije CAD modela u STL i OBJ format na dimenzionalnu tačnost proizvoda izrađenih tehnologijom 3D štampe. Analizirani su postupak diskretizacije geometrije, ključni parametri konverzije, kao i identifikacija tipičnih izvora grešaka koje nastaju tokom transformacije glatkih CAD površina u poligonalnu mrežu. Prikazana je uporedna analiza karakteristika STL i OBJ formata sa aspekta složenosti obrade, veličine fajla, učestalosti primene i njihovog uticaja na konačne dimenzije izrađenih delova. Rezultati analize ukazuju da izbor fajl formata nema presudan uticaj na dimenzionalnu tačnost delova, ukoliko su korišćeni isti parametri diskretizacije. Dimenzionalna odstupanja su u većoj meri uslovljena kvalitetom generisane mreže i procesnim parametrima štampe nego formatom fajla.

Ključne reči: Aditivna proizvodnja, konverzija, CAD, STL, OBJ, Dimenzije.

Abstract – Additive manufacturing has a wide range of applications due to its flexibility, cost-effectiveness, and ability to produce components with complex geometries. One of the key steps in the digital workflow of additive manufacturing is the conversion of parametric CAD models into formats suitable for processing in slicing software. The most commonly used formats in practice are STL and OBJ, both of which are based on a polygonal approximation of geometry and therefore introduce certain approximation errors. In this paper, the influence of converting CAD models into STL and OBJ formats on the dimensional accuracy of parts manufactured using 3D printing technology, is presented. The geometry discretization process, key conversion parameters, and the identification of typical sources of errors occurring during the transformation of smooth CAD surfaces into polygonal meshes is analyzed. A comparative analysis of the STL and OBJ formats is presented in terms of processing complexity, file size, frequency of use, and their impact on the final dimensions of manufactured parts. The results indicate that the choice of file format does not have a decisive influence on dimensional accuracy when identical discretization parameters are used. Dimensional deviations are primarily governed by the quality of the generated mesh and the process parameters of 3D printing rather than by the file format.

Keywords: Additive manufacturing, conversion, CAD, STL, OBJ, Dimensions.

1. UVOD

Aditivna proizvodnja predstavlja savremeni proizvodni pristup zasnovan na slojevitoj izradi fizičkih objekata direktno iz digitalnih modela. Zahvaljujući svojoj fleksibilnosti, mogućnosti izrade geometrijski složenih oblika i relativno niskim troškovima, aditivna proizvodnja nalazi sve širu primenu u industriji [1]. Iako još uvek nije pogodna za masovnu proizvodnju, tehnologija 3D štampe ima značajnu ulogu u razvoju prototipova, izradi funkcionalnih delova, personalizovanih proizvoda i malih serija proizvoda [2].

Proces aditivne proizvodnje obuhvata nekoliko ključnih faza, uključujući izradu digitalnog 3D modela u CAD softveru, konverziju geometrije u odgovarajući fajl format i pripremu i izradu proizvoda.

Milan Pavlović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milan.pavlovic@akademijanis.edu.rs).

Miloš Ristić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: milos.ristic@akademijanis.edu.rs).

Faza pripreme digitalnog modela, a naročito konverzija CAD geometrije u određene formate koji se koriste u fazi pripreme za izradu, ima presudan uticaj na geometriju, dimenzionalnu tačnost i kvalitet izrađenog proizvoda [3,4].

Uprkos tome, ovaj korak se u praksi često posmatra kao međufaza i realizuje korišćenjem podrazumevanih podešavanja, bez sistematične analize mogućih grešaka i njihovog uticaja na proces izrade.

Savremeni CAD alati se zasnivaju se na parametarskim matematičkim reprezentacijama, kao što su B-rep (engl. Boundary Representation) i NURBS (engl. Non-Uniform Rational B-Splines), koje omogućavaju precizno definisanje dimenzija, glatkih površina i funkcionalnih odnosa između elemenata CAD modela [5]. Međutim, većina tehnologija aditivne proizvodnje ne može direktno koristiti ovakve matematičke opise geometrije. Zbog toga je neophodno izvršiti konverziju CAD modela u poligonalnu mrežu, koja može biti interpretirana od strane softvera za isecanje modela na slojeve (engl. slicer). Tokom ovog procesa dolazi do transformacije idealnih glatkih površina u skup trouglova ili poligona, čime se uvode aproksimacione greške koje zavise od

strategije konverzije i algoritama implementiranih u CAD softveru [6].

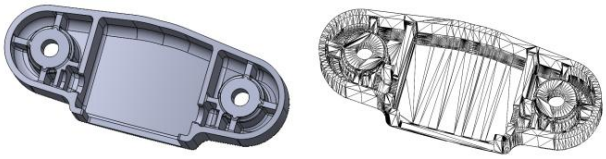
Najčešće korišćeni format fajla u *slicer* softverima u procesu aditivne proizvodnje jeste STL (engl. Stereolithography) format. STL fajl opisuje isključivo geometriju modela pomoću mreže trouglova, bez dodatnih informacija o materijalu, boji ili strukturi. Uprkos svojim ograničenjima, STL format je postao industrijski standard zahvaljujući jednostavnosti i širokoj kompatibilnosti sa različitim softverskim i hardverskim rešenjima [7]. Međutim, brojna istraživanja ukazuju da STL format može predstavljati značajan izvor geometrijskih i dimenzionalnih grešaka ukoliko parametri konverzije iz zapreminskog CAD modela u STL nisu pravilno definisani, naročito kod modela sa zakrivljenim površinama i složenom geometrijom [8,9].

Pored STL formata, koristi se i OBJ (engl. Wavefront Object) format koji takođe predstavlja opis geometrije pomoću mreže, ali omogućava čuvanje dodatnih informacija kao što su normalni vektori, boje, teksture i podaci o materijalima. Ove karakteristike čine OBJ format pogodnim za višematerijalne i višebojne aplikacije, kao i za primene kod kojih je vizuelni izgled proizvoda od posebnog značaja [10]. Ipak, sa stanovišta dimenzionalne tačnosti, i STL i OBJ format zasnivaju se na poligonalnoj mreži, te su oba podložna sličnim aproksimacionim greškama nastalim tokom konverzije CAD modela [R11, 12]. Problem dimenzionalne tačnosti je naročito prisutan u izradi proizvoda FDM tehnologijom, a greške u dimenzijama potiču od karakteristika materijala, parametara procesa i konstrukcije samog štampača [12]. Ipak, istraživanja ukazuju da greške nastale u fazi konverzije CAD modela u poligonalnu mrežu mogu imati uporediv ili čak veći uticaj na ukupnu dimenzionalnu tačnost proizvoda u poređenju sa inherentnim ograničenjima same FDM tehnologije [9].

U ovom radu je prikazan uticaj procesa konverzije CAD modela u STL i OBJ fajl formate na dimenzionalnu tačnost delova izrađenih tehnologijom 3D štampe. Analiza je usmerena na način diskretizacije geometrije, izbor parametara konverzije i pojavu aproksimacionih grešaka koje nastaju prilikom transformacije parametarskih CAD površina u poligonalnu reprezentaciju. Poseban akcenat stavljen je na razmatranje kako navedeni faktori utiču na konačne dimenzije proizvoda izrađenih FDM tehnologijom, uz sagledavanje njihove uloge u ukupnom digitalnom toku aditivne proizvodnje.

2. CAD-STL konverzija

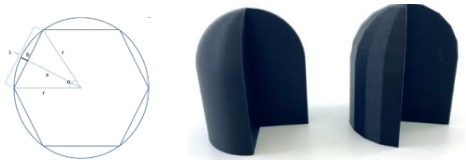
Proces konverzije CAD modela u STL format predstavlja jednu od ključnih faza u digitalnom toku aditivne proizvodnje, s obzirom da se u ovoj fazi vrši transformacija matematički tačno definisane geometrije u diskretizovani oblik pogodan za dalju obradu i izradu tehnologijom 3D štampe. STL format se zasniva na aproksimaciji površine modela mrežom trouglova, pri čemu se zapreminska informacija ne čuva, već se objekat opisuje isključivo preko svojih spoljašnjih površina. Ovakav način reprezentacije omogućava jednostavnu i široko kompatibilnu razmenu podataka, ali istovremeno uvodi i određena ograničenja u pogledu tačnosti i vernosti geometrije u odnosu na originalni CAD model. Tokom CAD–STL konverzije, glatke površine se aproksimiraju skupom trouglova, pri čemu se idealna geometrija zamenjuje približnom reprezentacijom (Slika 1).



Slika 1. *CAD-STL konverzija: CAD model (levo) i poligonalni model (desno) [R13]*

Proces konverzije CAD modela u STL format obično se sastoji od nekoliko koraka: izbora modela za izvoz, definisanja parametara konverzije, generisanja poligonalne mreže i formiranja STL fajla kao izlaznog rezultata. U zavisnosti od CAD softvera, korisniku su na raspolaganju različiti nivoi kontrole nad procesom konverzije, ali se u većini slučajeva ključni parametri svode na maksimalno dozvoljeno odstupanje između originalne površine i poligonalne mreže (*chord height* ili *chord deviation*), ugaonu toleranciju između susednih elemenata (*angular tolerance*) i rezoluciju mreže, odnosno gustinu trouglova.

Chord deviation predstavlja maksimalno dozvoljeno rastojanje između idealne CAD površine i odgovarajuće STL mreže i ima direktan uticaj na dimenzionalnu tačnost modela. Manje vrednosti ovog parametra rezultiraju finijom mrežom i boljom aproksimacijom zakrivljenih površina, ali i većom veličinom fajla i većim zahtevima za računarskim resursima. Ugaona tolerancija određuje maksimalni dozvoljeni ugao između normala susednih trouglova i utiče na način segmentacije krivina. Rezolucija mreže, odnosno gustina poligona, predstavlja posledicu kombinacije prethodna dva parametra i direktno utiče na broj trouglova u STL fajlu. Manje vrednosti *chord height*-a i ugaone tolerancije rezultiraju finijom mrežom i boljom aproksimacijom zakrivljenih površina, ali i povećanom veličinom fajla i većim zahtevima za obradom u *slicer* softverima.



Slika 2. *STL aproksimacija kruga sa chord deviation [6] (levo), razlika u geomtriji izrađenog proizvoda (desno)*

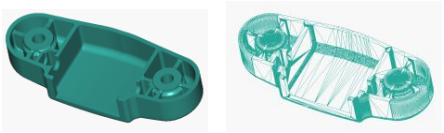
Nepravilan izbor parametara konverzije može dovesti do pojave različitih geometrijskih grešaka (Slika 2 (desno). Kod previše grubih podešavanja, zakrivljene površine se prikazuju kao niz ravnih površina, dolazi do gubitka kružnosti, a dimenzije modela mogu značajno odstupati od nominalnih vrednosti definisanih u CAD okruženju. Sa druge strane, previše fini parametri generišu STL fajlove sa veoma velikim brojem trouglova, što povećava potreban memorijski prostor i vreme obrade u *slicer* softverima, te može dovesti do problema u radu sa ograničenim računarskim resursima, bez proporcionalnog poboljšanja dimenzionalne tačnosti gotovog proizvoda [1, 3].

Važno je naglasiti da greške nastale tokom CAD–STL konverzije ne nestaju u daljim fazama digitalnog toka, već se prenose i često uvećavaju tokom procesa izrade proizvoda FDM tehnologijom 3D štampe. S obzirom na to da FDM tehnologija već poseduje određena inherentna ograničenja u pogledu dimenzionalne tačnosti, aproksimacione greške uvedene u fazi konverzije mogu imati dominantan uticaj na konačne dimenzije proizvoda. Zbog toga se CAD–STL konverzija može smatrati jednom od važnih faza u procesu aditivne proizvodnje, čiji pravilno definisani parametri predstavljaju osnovni preduslov za očuvanje geometrijske vernosti i postizanje zadovoljavajuće dimenzionalne tačnosti proizvoda.

3. CAD-OBJ konverzija

OBJ format se koristi znatno ređe u poređenju sa STL formatom, ali poseduje određene karakteristike koje ga čine relevantnim za specifične primene. Kao i STL, OBJ format se zasniva na poligonalnoj aproksimaciji površine modela, ali za razliku od STL-a omogućava skladištenje dodatnih informacija o geometriji i izgledu objekta. CAD–OBJ konverzija podrazumeva transformaciju parametarski definisanog CAD modela u poligonalnu mrežu koja može sadržati trouglove ili četvorouglove, kao i pripadajuće normalne vektore, podatke o bojama, teksturama i materijalima. Ovi dodatni podaci se u OBJ formatu najčešće čuvaju kroz zasebni MTL fajl format, koji definiše vizuelna svojstva modela [1, 11].

Slično kao kod CAD–STL konverzije, proces CAD–OBJ konverzije započinje izvozom modela iz CAD okruženja uz definisanje parametara konverzije. Tokom ovog procesa, glatke CAD površine zasnovane na B-rep i NURBS reprezentacijama aproksimiraju se poligonalnom mrežom, čime se javljaju greške aproksimacije. Iako OBJ format omogućava čuvanje dodatnih informacija, osnovna geometrijska aproksimacija ostaje u obliku mreže, te su izvori geometrijskih grešaka u suštini isti kao i kod STL formata. Parametri koji definišu CAD–OBJ konverziju u velikoj meri se poklapaju sa parametrima CAD–STL konverzije - *chord height*, ugaona tolerancija i rezolucija mreže.



Slika 1. *CAD-OBJ konverzija: CAD model (levo) i poligonalni model (desno)*

Sa stanovišta dimenzionalne tačnosti, CAD–OBJ konverzija ne donosi suštinsku prednost u odnosu na CAD–STL konverziju, budući da se u oba slučaja koristi poligonalna aproksimacija geometrije [1, 3]. OBJ format omogućava precizniju kontrolu orijentacije normala i vizuelnog izgleda modela, što može biti značajno u aplikacijama koje zahtevaju višebojnu ili višematerijalnu 3D štampu, ali ove prednosti nemaju direktan uticaj na dimenzionalnu tačnost proizvoda izrađenih FDM tehnologijom.

U praksi, dodatne informacije sadržane u OBJ fajlovima često nisu u potpunosti iskorišćene tokom pripreme modela za 3D štampu FDM tehnologijom. Većina komercijalno dostupnih *slicer* softvera primarno koristi geometriju mreže, dok se informacije o bojama, teksturama i materijalima zanemaruju ili se koriste isključivo u specijalizovanim sistemima. Pored toga, OBJ fajlovi su u proseku veće veličine u poređenju sa STL fajlovima generisanim iz istog CAD modela sa istim parametrima konverzije, što može dovesti do povećanog vremena obrade i većih zahteva za računarskim resursima [11, 14].

Još jedan potencijalni izvor problema kod CAD–OBJ konverzije jeste kompatibilnost sa softverima za pripremu modela i kontrolu procesa štampe. Dok je STL format univerzalno podržan u gotovo svim *slicerima*, podrška za OBJ format može varirati u zavisnosti od softverskog rešenja i njegove verzije. U pojedinim slučajevima dolazi do gubitka informacija o normalama ili nepravilne interpretacije mreže, što može zahtevati dodatne korake obrade i popravke modela pre štampe [6, 15].

CAD–OBJ konverzija predstavlja alternativni pristup diskretizaciji CAD geometrije koji nudi proširene mogućnosti u pogledu prenosa dodatnih informacija, ali ne obezbeđuje inherentno veću dimenzionalnu tačnost u odnosu na CAD–STL konverziju. U kontekstu FDM tehnologije 3D štampe, gde je dimenzionalna tačnost prvenstveno uslovljena kvalitetom poligonalne aproksimacije i procesnim parametrima štampe, OBJ format ima ograničenu primenu i uglavnom se koristi u specifičnim slučajevima koji zahtevaju višebojne ili vizuelno kompleksne modele.

4. POREĐENJE CAD-STL I CAD-OBJ KONVERZIJE

Konverzija CAD modela u fajl formate predstavlja nezaobilaznu fazu u digitalnom toku pripreme proizvoda za FDM tehnologiju 3D štampe. Iako se STL i OBJ format zasnivaju na poligonalnoj aproksimaciji geometrije, razlike u strukturi fajla, količini informacija koje se prenose i stepenu softverske podrške utiču na način njihove primene.

CAD–STL konverzija predstavlja relativno jednostavan i standardizovan proces, koji je integrisan u gotovo sve komercijalne i *open-source* CAD softverske pakete. Korisniku su najčešće dostupni osnovni parametri diskretizacije, dok je sam proces izvoza brz i pouzdan. Zbog dugogodišnje primene STL formata u aditivnoj proizvodnji, algoritmi za triangulaciju su optimizovani i stabilni [1]. Sa druge strane, CAD–OBJ konverzija može biti složenija, naročito kada se koristi mogućnost čuvanja dodatnih informacija o normalama, bojama i materijalima. Pored parametara koji definišu geometrijsku diskretizaciju, korisnik često mora da vodi računa o pravilnom formiranju pratećih MTL fajlova i kompatibilnosti sa softverima za dalju obradu. Različiti CAD softveri koriste različite strategije generisanja OBJ mreža, što može dovesti do neujednačenosti rezultata konverzije [11].

Veličina fajla predstavlja značajan praktični faktor, jer direktno utiče na vreme učitavanja, obrade i manipulacije modelom u *slicer* softverima. STL fajlovi po pravilu, imaju manju veličinu u poređenju sa OBJ fajlovima generisanim iz

istog CAD modela uz iste parametre diskretizacije. Ovo je naročito izraženo kod binarnog STL formata, koji je optimizovan za efikasno skladištenje podataka [14,15]. Prilikom konverzije CAD modela prikazanog na slikama 1 i 2, veličina STL fajla je 10,7 MB, dok je veličina OBJ fajla 19,7 MB, pri čemu je generisan i MTL fajl veličine 176 bajtova.

Sa stanovišta dimenzionalne tačnosti izrađenog dela FDM tehnologijom, izbor fajl formata nema presudan uticaj na konačne dimenzije proizvoda. U oba slučaja, geometrija je predstavljena poligonalnom mrežom, te su aproksimacione greške prvenstveno posledica parametara diskretizacije i kvaliteta generisane mreže, a ne samog formata fajla [8,9]. Istraživanja pokazuju da greške nastale tokom CAD–STL ili CAD–OBJ konverzije mogu biti uporedive ili čak veće od grešaka koje potiču od postupka 3D štampe, naročito kada se koriste grubi parametri konverzije [9]. Iako OBJ format omogućava preciznije definisanje normala i vizuelnih atributa, ove karakteristike ne utiču direktno na geometriju slojeva koje 3D štampač fizički formira. U tabeli 1 je prikazana uporedni pregled CAD–STL i CAD–OBJ konverzije sa više aspekata.

Tabela I *Poređenje CAD–STL i CAD–OBJ konverzije*

Kriterijum	CAD–STL konverzija	CAD–OBJ konverzija
Tip geometrijske reprezentacije	Trouglasta poligonalna mreža	Poligonalna mreža (trouglovi i/ili četvorouglovi)
Složenost konverzije	Jednostavan i visoko standardizovan proces	Složeniji proces zbog dodatnih informacija i zavisnosti od MTL fajla
Parametri diskretizacije	Chord height, ugaona tolerancija, rezolucija mreže	Chord height, ugaona tolerancija, rezolucija mreže
Veličina fajla	Manja veličina fajla	Veća veličina fajla
Opterećenje *slicer* softvera	Minimalno opterećenje, brzo učitavanje i stabilna obrada	Veće opterećenje sistema i duže vreme obrade
Kompatibilnost sa *slicerima*	Veoma visoka – univerzalni industrijski standard	Ograničena i zavisi od *slicera* i njegove verzije
Frekvencija upotrebe u praksi	Veoma česta – dominantni format u svim primenama	Retka – koristi se uglavnom u specijalnim i vizuelnim aplikacijama
Podrška za boje i teksture	Nema	Postoji, ali se uglavnom ne koristi u 3D štampi FDM tehnologijom
Izvor geometrijskih grešaka	Aproksimacija CAD površina tokom diskretizacije	Aproksimacija CAD površina tokom poligonalne diskretizacije
Uticaj formata na dimenzionalnu tačnost	Indirektan – zavisi od parametara konverzije	Indirektan – zavisi od parametara konverzije
Dimenzionalna tačnost izrađenog dela	Direktno uslovljena kvalitetom i parametrima konverzije	Direktno uslovljena kvalitetom i parametrima konverzije

5. ZAKLJUČAK

Aditivna proizvodnja predstavlja jednu od ključnih tehnologija savremene industrije zahvaljujući svojoj fleksibilnosti, mogućnosti izrade proizvoda složene geometrije i brzog prelaska sa digitalnog modela na fizički proizvod. U ovom radu je predstavljena analiza uticaja konverzije CAD modela u STL i OBJ format na dimenzije proizvoda izrađenih tehnologijom 3D štampe, sa posebnim fokusom na postupak konverzije, ključne parametre diskretizacije i tipične izvore aproksimacionih grešaka. STL i OBJ format sa stanovišta dimenzionalne tačnosti, ne pokazuju suštinske razlike ukoliko su generisani korišćenjem istih parametara konverzije, dok se razlike između njih pre svega ogledaju u složenosti obrade, veličini fajla i stepenu softverske podrške. Aproksimacione greške nastale tokom konverzije predstavljaju početnu grešku u digitalnom toku, koja se tokom procesa štampe može zadržati ili dodatno uvećati usled procesnih ograničenja FDM tehnologije. Istraživanja ukazuju na potrebu standardizacije postupaka konverzije i uvođenja savremenijih formata koji nude mogućnost smanjenja aproksimacionih grešaka. Takođe, treba obezbediti i bolju podršku za višematerijalne i višebojne aplikacije i veću interoperabilnost između različitih softverskih i hardverskih rešenja. Na taj način, moglo bi se obezbediti unapređenje kvaliteta procesa aditivne proizvodnje i smanjenje nesigurnosti u pogledu pojave grešaka u geometriji i dimenzionalnoj tačnosti, a time i smanjenja ukupnog kvaliteta finalnog proizvoda.

LITERATURA

[1] Y. Qin, X. Jiang, "Status, comparison, and future of the representations of additive manufacturing data", Computer-Aided Design, 111, 44-64, 2019.

[2] N. Chtioui, R. Gaha, A. Benamara, "Design for additive manufacturing: Review and framework proposal", Sustainable Engineering and Innovation, vol. 5, no. 1, pp.73-84, 2023.

[3] K. J. Chen et al. "On the correlation between pre-processing workflow and dimensional accuracy of 3D printed parts", Additive Manufacturing, 91, 2024.

[4] M. Ntousia et al. "Predicting geometric errors and failures in additive manufacturing", Rapid Prototyping Journal, 2023.

[5] G. Farin, Curves and Surfaces for Computer-Aided Geometric Design A Practical Guide, Academic Press, 1992.

[6] S. Hällgren, L. Pejryd, J. Ekengren, "3D data export for additive manufacturing – improving geometric accuracy", Procedia CIRP, 2016.

[7] I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker, Additive Manufacturing Technologies, Springer, 2021.

[8] R. Mykhailyshyn et al. "Three-Dimensional Printing of Cylindrical Nozzle Elements of Bernoulli Gripping Devices for Industrial Robots", Machines, 2022.

[9] P. Zmarzły, et al. "Impact of STL file format on cylindricity deviation in FDM", Metrology and Measurement Systems, 2025.

[10] A., Kantaros et al. "3D Imaging and Additive Manufacturing for Original Artifact Preservation Purposes: A Case Study from the Archaeological Museum of Alexandroupolis", Heritage, 8(2), 80, 2025.

[11] X. Zhao et al. "Lightweight geometric compression encoding for additive manufacturing", Computer-Aided Design, 2023.

[12] Y. El Hani et al. "Critical printing parameters in fused deposition modelling of PLA", Archives of Materials Science and Engineering, vol. 133, no. 2, 2025.

[13] M. Pavlović, M. Ristić, M. Velojić, "Primena reverznog inženjerstva i 3D štampe u optimizaciji konstrukcije nosača naslona radne stolice", Zbornik radova, Akademije tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, 2024.

[14] P. P. Abadiaa et al. "Printing information modeling for additive manufacturing", Computers in Industry, 2020.

[15] M. Livesu et al. "From 3D models to 3D prints: an overview of the processing pipeline", Computer Graphics Forum, 2017.

ANALIZA PRIMENE SAVREMENIH MERNIH UREĐAJA U MAŠINSTVU NA PRIMERU KLJUNASTOG POMIČNOG MERILA

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF MODERN MEASURING DEVICES IN MECHANICAL ENGINEERING USING THE EXAMPLE OF A CALIPER

Petar Đekić, Biljana Milutinović

Sadržaj – Metrologija je ključna za kontrolu kvaliteta u mašinstvu i proizvodnji, podložna stalnoj evoluciji usled tehnološkog napretka i digitalizacije industrije. Klasična kljunasta merila ostaju široko korišćena zbog robusnosti i niske cene, ali su podložna ljudskim greškama i ograničavaju efikasnost merenja. Digitalna merila sa Wi-Fi prenosom eliminišu subjektivnost, omogućavaju automatsko beleženje i real-time integraciju u proizvodne digitalne tokove. Rad analizira komparativno ova dva pristupa, ističući razlike u tačnosti, ergonomiji i kompatibilnosti sa savremenim industrijskim sistemima.

Ključne reči: pomično merilo, digitalno pomično merilo, kontrola kvaliteta, komparativna analiza.

Abstract – Metrology is crucial for quality control in mechanical engineering and manufacturing, and it is subject to continuous evolution due to technological advancement and industrial digitalization. Traditional caliper gauges remain widely used due to their robustness and low cost, but they are prone to human errors and limit measurement efficiency. Digital calipers with Wi-Fi data transmission eliminate subjectivity, enable automatic data logging, and allow real-time integration into digital production workflows. This study provides a comparative analysis of these two approaches, highlighting differences in accuracy, ergonomics, and compatibility with modern industrial systems.

Keywords: caliper, digital caliper, quality control, comparative analysis.

1. UVOD

Metrologija, kao osnova kontrole kvaliteta u mašinstvu i proizvodnji, podleže stalnoj i ubrzanoj evoluciji usled tehnološkog napretka i rastućih zahteva industrijske digitalizacije. Ova transformacija podrazumeva ne samo unapređenje pojedinačnih mernih parametara, već i radikalnu promenu prikupljanja, obrade i integracije svih podataka u digitalne tokove. Na jednom kraju se nalaze klasična merila, tj. mehanički instrumenti čiji se princip rada zasniva na nonijus skali za očitavanje frakcija osnovne skale. Kao reprezent tradicionalne mehaničke metrologije, ovaj instrument ostaje široko rasprostranjen zbog svoje autonomnosti, robusnosti i niske cene. Njegova primena, međutim, uvodi element subjektivne vizuelne interpretacije, ograničavajući brzinu očitavanja i podložnost grubim greškama (namernim i nenamernim) što direktno utiče na tačnost merenja u okviru MSA (*Measurement Systems Analysis*).

Suprotno tome, digitalna merila sa prenosom podataka na daljinu predstavljaju tehnologiju koja integriše precizni elektronski senzor (obično kapacitivni ili induktivni) sa mikroprocesorskom kontrolom i bežičnim interfejsom za prenos podataka. Ova konfiguracija omogućava direktno digitalno očitavanje sa eliminacijom ljudske greške, automatsko snimanje (engl. data logging) i real-time prenos mernih podataka na eksterne sisteme.

Petar Đekić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: petar.djekic@akademijanis.edu.rs).

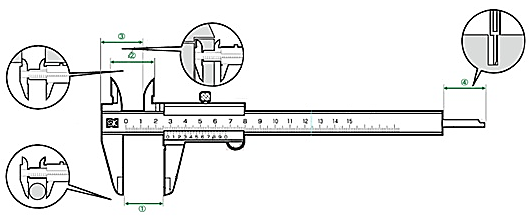
Biljana Milutinović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: biljana.milutinovic@akademijanis.edu.rs).

Time se ne samo pospešuje efikasnost procesa kontrole dimenzija, već se otvara mogućnost za direktnu integraciju u mrežu Industrije 4.0, omogućavajući kontinuiran in-process metrology i analitiku podataka.

Ovaj rad predstavlja komparativnu analizu dva metrološka pristupa, sa ciljem da se opišu njihove razlike ne samo u pogledu nominalne tačnosti i rezolucije, već i u kontekstu ukupne merne nesigurnosti, ergonomije rada i kompatibilnosti sa savremenim digitalnim proizvodnim okruženjima (DMIS, QMS) [1-3].

2. POMIČNA MERILA

Pomično merilo, kao osnovni metrološki instrument u mašinstvu, služi za precizno određivanje linearnih dimenzija predmeta uz visok stepen ponovljivosti i minimalnu mernu nesigurnost. Konstrukcija ovog instrumenta zasniva se na principu nonijusne skale, koja omogućava diferencijalno očitavanje dužine i time postiže veća tačnost merenja u odnosu na optičku rezoluciju standardnih linearnih lenjira. Primarna funkcija obuhvata simultano merenje unutrašnjih i spoljašnjih dijametara, kao i dubina kanala, koristeći kinematički par klizne čeljusti i fiksnog stabla što je prikazano na slici 1.



Slika 1. *Primena pomičnog merila*

Glavne prednosti su robusnost, velika otpornost na habanje, jednostavna upotreba i odsustvo potrebe za napajanjem. Ipak, nedostaci se ogledaju u ograničenoj tačnosti (obično ±0,02 mm), subjektivnoj interpretaciji očitavanja i nemogućnosti direktne digitalne obrade podataka. Slično tome, merna tehnika zasnovana na mehaničkom mernom satu pruža vizuelno jasniji prikaz odstupanja i pogodna je za merenje malih dimenzionih razlika. Prednost ovog uređaja je njegova visoka osetljivost i pogodnost za merenje koncentričnosti, ravnosti ili aksijalnog pomeranja. Međutim, ograničenja uključuju mehaničko habanje, potencijalne greške usled vibracija i potrebu za iskustvom korisnika pri interpretaciji rezultata.

Razvoj digitalnih mernih uređaja predstavlja značajan pomak u pogledu brzine rada i tačnosti merenja. Digitalna pomična merila omogućavaju lako očitanje sa tačnošću od 0,01 mm ili većom. Preciznost i mogućnost momentalnog očitavanja bez ljudske greške smanjuju verovatnoću nastanka subjektivnih odstupanja. Ključna inovacija ogleda se u mogućnosti povezivanja digitalnih uređaja sa računarima, tabletima ili pametnim telefonima putem USB, Bluetooth ili Wi-Fi komunikacije. Time se omogućava trenutni prenos podataka u baze za statističku kontrolu procesa (SPC), kao i integracija u složene informaciono-upravljačke sisteme što je prikazano na slici 2.



Slika 2. *Digitalno pomično merilo* [4]

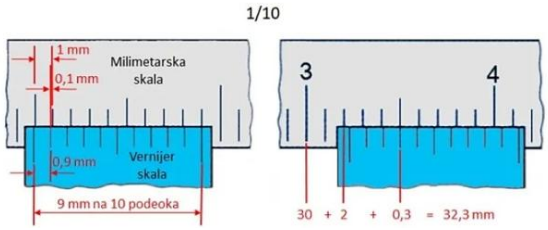
2.1 tehnologija merenja

Pomično kljunasto merilo meri dimenzije predmeta na principu upoređivanja položaja čeljusti sa podelama glavne skale i nonijusa. Pri merenju, čeljusti se postavljaju na predmet, klizač se pomera dok čeljusti nežno ne nalegnu, slika 3.



Slika 3. *Pozicioniranje čeljusti*

Zatim se očitava vrednost: na glavnoj skali beležimo celu milimetarsku vrednost ispred nule nonijusa, a na nonijusu podelu koja se poklapa sa glavnom skalom i dodaje se glavnoj vrednosti da bi se dobio konačan rezultat, princip očitavanja prikazan je na slici 4.



Slika 4. *Očitavanje na merilu klase tačnosti 1/0*

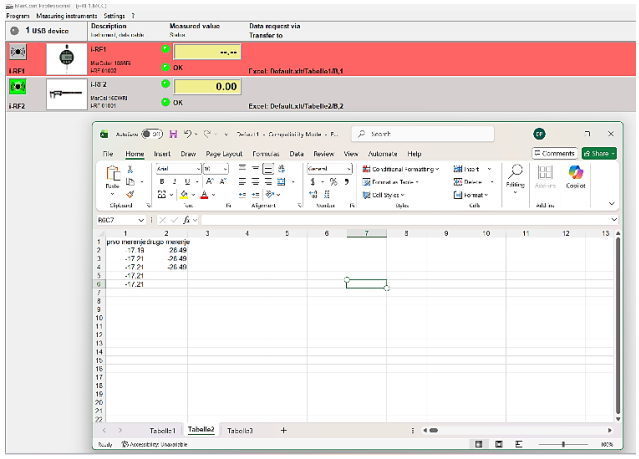
Izmerena dimenzija se zapisuje numerički, na papiru sa mernom jedinicom.

Merenje pomoću digitalnog kljunastog merila sa Wi-Fi prenosom kombinuje princip klasičnog kljunastog pomičnog merila sa modernom digitalnom tehnologijom. Čeljusti merila se postavljaju na predmet, klizač se pomera dok ne nalegne na površinu, a senzor u merilu beleži preciznu poziciju klizača, slika 5.



Slika 5. *Digitalno očitavanje dimezija*

Očitana vrednost se digitalno prikazuje na ekranu merila, pritiskom na crveno dugme trenutno može biti bežično preneta preko Wi-Fi veze na računar, tablet ili mobilni uređaj slika 6.



Slika 6. *Prenos podataka u računar*

3. KOMPARATIVNA ANALIZA UPOTREBE MERILA

Prosečno vreme potrebno za jedno merenje dimenzije, klasičnim kljunastim pomičnim merilom, iznosi oko 15 sekundi i uključuje dodatnu radnju u kojoj operater mora da odloži merni uređaj ili mereni komad kako bi ručno zabeležio izmerenu vrednost. Iako je ovakav postupak relativno jednostavan, on produžava ukupno vreme kontrole i povećava verovatnoću nastanka grešaka tokom procesa zapisivanja.

Glavne prednosti primene klasičnih kljunastih pomičnih merila ogledaju se u njihovoj robusnosti, velikoj otpornosti na habanje, jednostavnoj upotrebi i potpunom odsustvu potrebe za napajanjem. Zahvaljujući tim karakteristikama, ova merila su dugotrajna i pouzdana čak i u zahtevnim radioničkim uslovima. Međutim, sa aspekta savremene kontrole kvaliteta, njihovi nedostaci postaju sve izraženiji. Pre svega, ograničena tačnost (najčešće ±0,02 mm), subjektivna interpretacija očitavanja koja zavisi od iskustva operatera, uslova osvetljenja, oštrine vida i zamora, kao i nemogućnost direktne digitalne obrade podataka, predstavljaju značajna ograničenja. Dodatno, postoji potencijalna mogućnost zloupotrebe rezultata merenja (tzv. „štelovanje“ vrednosti) od strane kontrolora u cilju smanjenja prividne greške, što negativno utiče na pouzdanost mernog sistema u okviru MSA (*Measurement System Analysis*).

Za razliku od klasičnih uređaja, digitalna pomična merila omogućavaju brzo i jasno očitavanje sa tačnošću od 0,01 mm ili boljom. Digitalni prikaz eliminiše potrebu za vizuelnim tumačenjem skala, čime se značajno smanjuje verovatnoća subjektivnih odstupanja. Vreme očitavanja se u ovom slučaju svodi na svega nekoliko sekundi, što direktno doprinosi povećanju produktivnosti procesa kontrole kvaliteta. Takođe, savremeni digitalni sistemi umanjuju ergonomsku zavisnost od dominantne ruke operatera, čime se smanjuju razlike u radu između desnorukih i levorukih korisnika. Ključna prednost digitalnih pomičnih merila ogleda se u mogućnosti povezivanja sa računarima, tabletima ili pametnim telefonima putem USB, Bluetooth ili Wi-Fi komunikacije. Ovakav pristup omogućava automatski i trenutni prenos mernih podataka u baze za statističku kontrolu procesa (SPC), kao i njihovu integraciju u složene informaciono-upravljačke sisteme. Time se smanjuje opterećenje i stres operatera, povećava pouzdanost merenja i eliminišu greške nastale pri ručnom zapisivanju. U okviru ovih sistema moguće je gotovo trenutno izračunavanje apsolutne i relativne greške, dok se u kombinaciji sa naprednim AI sistemima omogućava automatsko prepoznavanje neispravnih proizvoda (škarta) i signalizacija njihovog izdvajanja iz proizvodnog procesa.

Ovakav pristup ne samo da ubrzava proces donošenja odluka, već značajno doprinosi standardizaciji proizvodnje, što je od posebnog značaja u industrijama sa visokim zahtevima za kvalitet i sledljivost, kao što su automobilska industrija, vazduhoplovstvo i proizvodnja medicinske opreme i pomagala. Dodatno, digitalna merila često poseduju funkcije interne memorije za čuvanje serija merenja, automatsku korekciju rezultata i mogućnost generisanja izveštaja, čime u potpunosti prevazilaze mogućnosti klasičnih mehaničkih instrumenata.

Ipak, digitalni sistemi nisu bez nedostataka. Njihova osnovna ograničenja odnose se na višu cenu, potrebu za napajanjem putem baterija, povećanu osetljivost na vlagu i prašinu, moguće softverske nekompatibilnosti, kao i potencijalni negativan uticaj elektromagnetnih smetnji koje potiču od trofaznih elektromotora velike snage. Nasuprot tome, klasična mehanička merila praktično ne zahtevaju održavanje i pouzdano funkcionišu i u teškim radnim uslovima.

Uprkos navedenim ograničenjima, sagledano iz perspektive savremene industrijske proizvodnje, digitalna pomična merila sa bežičnim prenosom podataka imaju jasnu prednost. Njihova sposobnost integracije procesa merenja u globalni informacioni tok proizvodnog sistema predstavlja jedan od ključnih faktora konkurentnosti. Ova uporedna analiza pokazuje da klasična merenja, iako i dalje korisna u obrazovnim i osnovnim radioničkim procesima, postepeno ustupaju mesto savremenim digitalnim rešenjima. Tradicionalni merni instrumenti i dalje imaju značajnu ulogu u inicijalnoj obuci učenika i studenata, jer omogućavaju razvoj osećaja za dimenzije i manuelnu preciznost, kao i u brzim preliminarnim proverama gde maksimalna tačnost nije neophodna.

U savremenoj praksi sve je češća kombinacija ova dva pristupa: klasični instrumenti koriste se za brze i grube provere, dok digitalni uređaji, naročito oni sa mogućnošću bežičnog prenosa podataka, preuzimaju ključnu ulogu u detaljnim kontrolama i automatskoj obradi mernih rezultata. Na ovaj način postiže se optimalan balans između ekonomičnosti i preciznosti. U budućnosti se očekuje dalji razvoj digitalnih mernih uređaja u pravcu unapređenja njihove autonomije, energetske efikasnosti i otpornosti na spoljne uslove, kao i sve veća integracija sa softverima za upravljanje proizvodnjom. Time će digitalni merni sistemi postati neizostavan element potpune digitalizacije mašinske industrije i prelaska ka konceptu pametnih fabrika zasnovanih na Industriji 4.0 i Internetu stvari (IoT).

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršena je komparativna analiza klasičnih kljunastih pomičnih merila i savremenih digitalnih pomičnih merila sa mogućnošću bežičnog prenosa podataka, sa ciljem sagledavanja njihove uloge u savremenim sistemima kontrole kvaliteta. Analiza je pokazala da klasična mehanička merila, uprkos svojoj jednostavnosti, robusnosti i niskoj ceni, imaju ograničenja u pogledu tačnosti, brzine očitavanja i pouzdanosti rezultata, naročito u uslovima gde se zahteva velika ponovljivost i obrada većeg broja mernih podataka. Subjektivnost očitavanja i ručno zapisivanje rezultata dodatno utiču na povećanje mernih grešaka i ukupne merne nesigurnosti.

Sa druge strane, digitalna pomična merila sa elektronskim senzorima i mogućnošću prenosa podataka putem USB, Bluetooth ili Wi-Fi komunikacije predstavljaju značajan iskorak u oblasti industrijske metrologije. Njihova primena omogućava brzo i precizno očitavanje, eliminaciju ljudske greške, automatsko beleženje podataka i direktnu integraciju u sisteme statističke kontrole procesa (SPC) i upravljanja kvalitetom. Time se značajno unapređuje efikasnost procesa merenja, smanjuje opterećenje operatera i otvara mogućnost primene naprednih analitičkih i AI sistema za pravovremeno prepoznavanje odstupanja i neispravnih proizvoda.

Na osnovu sprovedene analize može se zaključiti da dalji razvoj metrologije ide u pravcu potpune digitalizacije mernih sistema i njihove integracije u koncept pametnih fabrika, u skladu sa principima Industrije 4.0 i Internet stvari (IoT). Digitalni merni uređaji, kao sastavni deo ovih sistema, imaće

ključnu ulogu u unapređenju kvaliteta proizvoda, optimizaciji proizvodnih procesa i povećanju konkurentnosti savremene mašinske industrije.

LITERATURA

[1] Doiron, T., & Beers, J. (2010). The Gage Block Handbook. National Institute of Standards and Technology (NIST).

[2] ISO 13385-1:2019. Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional measuring equipment — Part 1: Design and metrological characteristics of callipers.

[3] Mitutoyo Corporation (2020). Metrology Handbook: The Science of Measurement.

[4] MarCal | Digital caliper, MarCal 16 EWRi, [Online] Dostupno na: https://metrology.mahr.com/en-us/products/article/4103402-digitaler-messschieber-marcal-16-ewri/, Pristupljeno: 20.01.2026.

MATEMATIČKI PROBLEMI NESTACIONARNE TOPLOTNE KONDUKCIJE U POLARNO-CILINDRIČNOM KOORDINATNOM SISTEMU

MATHEMATICAL PROBLEMS OF TRANSIENT HEAT CONDUCTION IN THE POLAR-CYLINDRICAL COORDINATE SYSTEM

Luka Marinović, Dejan Mitrović, Mića Vukić, Predrag Rajković

Sadržaj – Prenos toplote predstavlja važnu matematičko-fizičku disciplinu i značajnu oblast inženjerskih istraživanja. U radu se razmatra nestacionarni konduktivni prenos toplote u polarno-cilindričnom koordinatnom sistemu. Najpre je prikazana i rešena transportna jednačina bez izvora toplote uz opšti postupak rešavanja homogenih jednačina. Zatim je Beselova diferencijalna jednačina rešena Frobenijusovom metodom, pri čemu se dobijaju Beselove funkcije prve vrste. Ukratko su analizirani i Šturm-Liuvilovi granični problemi neophodni za rešavanje konduktivne transportne jednačine Furijeovom metodom razdvajanja promenljivih. U radu je potom rešen primer nestacionarne kondukcije sa homogenim graničnim uslovima, a na kraju je dat kratak osvrt na rešavanje nehomogenih jednačina i nehomogenih graničnih uslova.

Ključne reči: toplotna kondukcija, Besselova diferencijalna jednačina, Šturm-Liuvilov problem, Furijeov metod razdvajanja promenljivih

Abstract – Heat transfer represents an important mathematical-physical discipline and a significant field of engineering research. This paper considers transient conductive heat transfer in a polar-cylindrical coordinate system. First, the transport equation without internal heat generation is presented and solved, together with the general procedure for solving homogeneous equations. Then the Bessel differential equation is solved using the Frobenius method, which yields Bessel functions of the first kind. Sturm–Liouville boundary value problems necessary for solving the conductive transport equation by Fourier's method of separation of variables are also briefly analyzed. A case of transient conduction with homogeneous boundary conditions is then solved, and finally a brief overview is given of solving nonhomogeneous equations and problems with nonhomogeneous boundary conditions.

Keywords: heat conduction, Bessel diferential equation, Sturm–Liouville problem, Fourier method of separation of variables

1. UVOD

Prenos toplote predstavlja fundamentalni proces svih termičkih uređaja, počev od najprostijih grejnih tela do složenih parnoturbinskih postrojenja. Matematičko modeliranje kondukcije toplote bazira se na primeni parcijalnih diferencijalnih jednačina. Nezavisno od složenosti problema pristup rešavanju prati određene korake kojima se dolazi do finalnog oblika raspodele temperaturskog polja unutar tela. Iako su razvojem numeričkih metoda analitički pristupi delimično potisnuti, u literaturi se danas ređe sreću egzaktna analitička rešenja, naročito u nekartezijanskim koordinatnim sistemima. Zbog toga se u radu prikazuju osnovna pravila i pojedini matematički aspekti rešavanja konduktivnih jednačina, sa posebnim osvrtom na polarno-cilindrični koordinatni sistem koji se često koristi pri analizi temperaturskog polja u cevima i sličnim elementima.

Luka Marinović, Mašinski fakultet, Katedra za termotehniku, termoenergetiku i procesnu tehniku, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš (imejl luka.marinovic@masfak.ni.ac.rs)

Dejan Mitrović, Mašinski fakultet, Katedra za termotehniku, termoenergetiku i procesnu tehniku, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš (imejl dejan.mitrovic@masfak.ni.ac.rs

Mića Vukić, Mašinski fakultet, Katedra za termotehniku, termoenergetiku i procesnu tehniku, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš (imejl mica.vukic@masfak.ni.ac.rs)

Predrag Rajković, Mašinski fakultet, Katedra za prirodni-matematičke nauke, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš (imejl predrag.rajkovic@masfak.ni.ac.rs)

2. TRANSPORTNA JEDNAČINA U POLARNO-CILINDRIČNOM KOORDINATNOM SISTEMU

Transportna jednačina nestacionarne kondukcije u polarno-cilindričnom koordinatnom sistemu bez izvornog člana predstavlja homogenu linearnu parcijalnu diferencijalnu jednačinu [1,2]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \qquad (1)$$

Pri čemu je α poznati koeficijent toplotne difuzije [2]: $\alpha = \frac{k}{\rho c} = const$, gde su veličine: k – koeficijent toplotne provodnosti, ρ-gustina materijala, c – toplotni kapacitet materijala. Ona se rešava Furijeovom metodom razdvajanja promenljivih, kojom se rešenje pretpostavi u obliku proizvoda funkcija jedne promenljive: [1,2,3]

$$T(x,y,z,t) = R(r)\, Z(z)\, \Phi(\varphi)\, G(t) \qquad (2)$$

Diferenciranjem gornjeg izraza po svakoj kooridinati dobijaju se četiri obične diferencijalne jednačine sa tri konstante razdvajanja (λ,η,ν):

$$G'(t) + \alpha\lambda^2 G(t) = 0 \qquad (3.1)$$

$$\mathrm{Z}''(z) + \eta^2 G(z) = 0 \qquad (3.2)$$

$$\Phi''(\varphi) + \nu^2 \Phi(\varphi) = 0 \qquad (3.3)$$

$$R''(r) + \frac{1}{r}R'(r) + \left(\lambda^2 - \eta^2 - \frac{\nu^2}{r^2}\right) R(r) = 0 \qquad (3.4)$$

Rešenja gornjih jednačina su redom:

$$G(t) = C_1 e^{-\alpha\lambda^2 t} \qquad (4.1)$$

$$Z(z) = C_2 \cos \eta z + C_3 \sin \eta z \qquad (4.2)$$

$$\Phi(\varphi) = C_4 \cos \nu\varphi + C_5 \sin \nu\varphi \qquad (4.3)$$

$$R(r) = C_6 J_0(\beta r) + C_7 Y_0(\beta r),\ \beta^2 = \lambda^2 - \eta^2 \qquad (4.4)$$

Integracione konstante određuju se iz početnog i graničnih uslova. Primena Furijeove metode ograničena je na probleme sa jednom nehomogenošću: stacionarne probleme sa jednim nehomogenim graničnim uslovom ili nestacionarne probleme sa homogenim graničnim uslovima i nehomogenim početnim uslovom. Nehomogeni uslovi su oni u kojima svi nenula članovi sadrže nepoznatu funkciju ili njen izvod (tabela I).

Tabela I *Homogeni i nehomogeni granični uslovi* [1]

Granični uslov	Nehomogen	Homogen
Prve vrste (Dirihleov)	$T(r,\varphi,z,t) = f(r,\varphi,z,t)$ $T(r,\varphi,z,t) = T_0 = const$	$T(r,\varphi,z,t) = 0$
Druge vrste (Nojmanov)	$-k\left.\frac{\partial T}{\partial n}\right\|_{gr} = f(r,\varphi,z,t)$ $-k\left.\frac{\partial T}{\partial n}\right\|_{gr} = q_0 = const$	$\left.\frac{\partial T}{\partial n}\right\|_{gr} = 0$
Treće vrste (Furijeov)	$-k\left.\frac{\partial T}{\partial n}\right\|_{gr} = h(T\|_{gr} - T_\infty)$	$-k\left.\frac{\partial T}{\partial n}\right\|_{gr} = h \cdot T\|_{gr}$

Pod pretpostavkom da problem ispunjava ove uslove, opšti algoritam rešavanja je sledeći [1]:

- Izdvojiti funkciju jedne promenljive sa homogenim graničnim uslovima,
- Odrediti jednu konstantu integracije i rešiti transcedentnu jednačinu Šturm-Liuvilovog problema za sopstvene vrednosti (izuzetak je periodičnost po uglovnoj koordinati),
- Ponoviti postupak za svaku homogenu dimenziju, i odrediti sopstvene vrednosti za svaku geometrijsku koordinatu – za vreme ne postoje sopstvene vrednosti
- Rešiti običnu diferencijalnu jednačinu u nehomogenoj dimenzini,
- Izraziti rešenje kao beskonačnu sumu pojedinačnih rešenja za svaku sopstvenu vrednost,
- Primeniti nehomogeni uslov i pomoću Furije-Besselovog razvoja odrediti novu nepoznatu konstantu (ili konstante).

3. REŠENJE BESELOVE DIFERENCIJALNE JEDNAČINE FROBENIJUSOVOM METODOM

Postupak rešavanja jednačina (3.1-3.3) je opšte poznat,tako da će posebna pažnja biti posvećena Beselovoj diferencijalnoj jednačini (3.4). Ona predstavlja linearnu diferencijalnu jednačinu drugog reda sa promenljivim koeficijentima, za čije rešavanje se primenjuje (Frobenijusova) metoda uopštenih stepenih redova [3,4]. Njome se mogu rešiti jednačine oblika:

$$y(x)'' + \frac{a(x)}{x} y(x)' + \frac{b(x)}{x^2} y(x) = 0 \qquad (5)$$

Gde se funkcije $a(x)$i i $b(x)$ mogu razviti u stepene redove oblika $\sum_{n=1}^{\infty} a_n x^n$. Tada se barem jedno rešenje može napisati u obliku:

$$y(x) = x^r(c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + \cdots) = \sum_{k=0}^{\infty} c_k x^{k+r} \qquad (6)$$

Pri čemu je r realan ili kompleksan broj koji se određuje pod uslovom da je $c_0 \neq 0$. Zamenom stepenog oblika funkcije u izraz (5) zadatak se svodi na određivanje nepoznatih koeficijenata u gornjem izrazu. Nakon smene $s = \beta r$ jednačina (3.4) ima oblik:

$$\sum_{k=0}^{\infty}[(r+k)(r+k-1) + (r+k) - \nu^2]\, c_k s^{r+k} + \sum_{k=0}^{\infty} c_k s^{r+k+2} = 0 \qquad (7)$$

Potom se dobija beskonačni sistem jednačina po nepoznatim koeficijentima c_n:

$$s^r: \quad (r^2 - \nu^2)c_0 = 0 \qquad (8.1)$$

$$s^{r+1}: \quad [(r+1)^2 - \nu^2]c_1 = 0 \qquad (8.2)$$

$$s^{r+k}: \quad [(r+k)^2 - \nu^2]c_k + c_{k-2} = 0 \qquad (8.3)$$

Zbog uslova $c_0 \neq 0$ u prvoj jednačini sistema ostaje samo levi deo (tzv. indicijalna jednačina), koji služi za određivanje parametra r. U ovom slučaju biće $r_1 = \nu$ i $r_2 = -\nu$, $\nu \geq 0$. Svakoj vrednosti r odgovara jedno rešenje jednačine. U nastavku će biti razmotren prvi slučaj sa $r_1 = \nu$, čime sistem postaje:

$$s^{r+1}: \quad [2\nu + 1]c_1 = 0 \qquad (9.1)$$

$$s^{r+k}: \quad k[2\nu + k]c_k + c_{k-2} = 0 \qquad (9.2)$$

Kako je $\nu \geq 0$, iz jednačine (9.1) sledi da koeficijent c_1 mora biti jednak nuli. Iz jednačine (9.2) gornjeg sistema se dobija opšti izaz za koeficijente iz pretpostavljenog oblika rešenja (6):

$$c_k = \frac{-c_{k-2}}{k(2\nu+k)} \qquad (10)$$

Kako je $c_1 = 0$ biće i svaki sledeći neparni koeficijent $c_{2m+1} = 0$, za $m = 1,2,\ldots$ Na osnovu toga se sada izraz (10) može preformulisati:

$$c_{2m} = \frac{-c_{2m-2}}{4m(\nu+m)} \qquad (11)$$

Prva dva koeficijenta će onda biti:

$$m = 1: \quad c_2 = \frac{-c_0}{4(\nu+1)} \qquad (12.1)$$

$$m = 2: c_4 = \frac{-c_2}{4\cdot 2(\nu+2)} = \frac{-1\cdot(-1)\cdot c_0}{4\cdot 2\cdot 4\cdot(\nu+2)(\nu+1)} = \frac{(-1)^2 c_0}{2^4\cdot 2\cdot(\nu+2)(\nu+1)} \qquad (12.2)$$

Na osnovu gornjih izraza može se izvesti opšti član niza koeficijenata:

$$c_{2m} = \frac{(-1)^m \cdot c_0}{2^{2m}\cdot m!(\nu+m)(\nu+m-1)(\nu+m-2)\cdot\ldots\cdot(\nu+1)} \qquad (13)$$

Znajući gama funkciju i njene osobine, izraz (13) se svodi na:

$$c_{2m} = (-1)^m \frac{2^\nu \Gamma(\nu+1)\cdot c_0}{m!\Gamma(\nu+m+1)} \left(\frac{1}{2}\right)^{2m+\nu} \qquad (14)$$

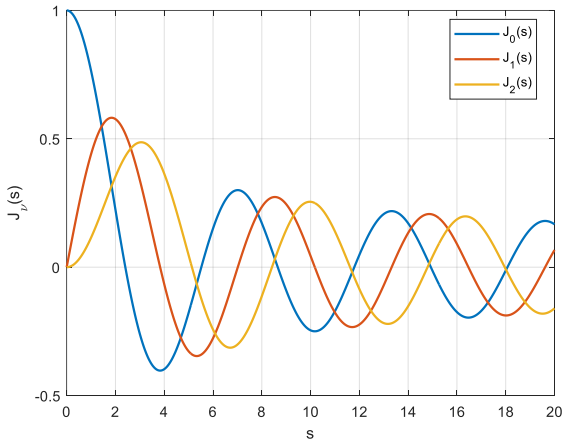
Nepoznat koeficijent c_0, se usvaja tako da je brojilac razlomka u (14) jednak jedinici:

$$c_0 = \frac{1}{2^\nu \Gamma(\nu+1)} \qquad (15)$$

Rešenje jednačine, pretpostavljeno u obliku (6) biće onda:

$$y_1(s) = y_1(\beta r) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!\Gamma(\nu+m+1)} \left(\frac{\beta r}{2}\right)^{2m+\nu} \qquad (16)$$

Ovaj funkcionalni red se naziva Beselova funkcija prve vrste reda ν, a označava se sa $J_\nu(s)$ (slika 1).



Slika 1. *Besselove funkcije prve vrste nultog, prvog i drugog reda*

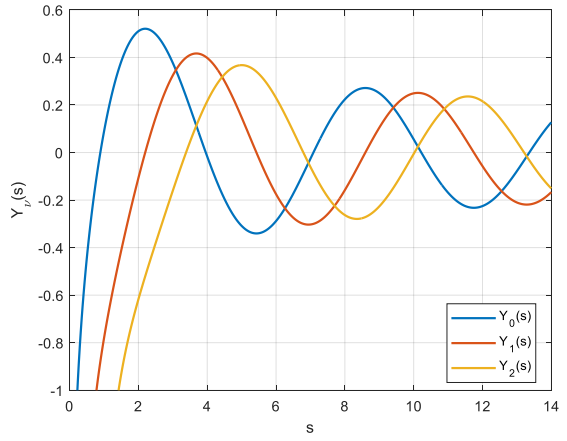
Za dobijanje opšteg rešenja, potrebno je naći još jedno linearno nezavisno partikularno rešenje . Ako se posmatra drugi slučaj, tj. $r_2 = -\nu$, izraz uz koeficijent c_k, mora biti različit od nule da bi se odredilo još jedno rešenje:

$$(r_2 + k)^2 - \nu^2 \neq 0 \qquad (17)$$

Kako je $k = 2m$, i $r_2 = -\nu$ proizilazi da je uslov za nalaženje koeficijenata $\nu \neq m$. Drugim rečima uslov je da ν nije ceo broj. Tada je drugo rešenje:

$$y_2(s) = y_2(\beta r) = J_{-\nu}(\beta r) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!\Gamma(-\nu+m+1)} \left(\frac{\beta r}{2}\right)^{2m-\nu} \qquad (18)$$

Kako je u prvom rešenju množilac reda $(\beta r)^\nu$ a u drugom $(\beta r)^{-\nu}$, ove dva rešenja su linearno nezavisna, a opšte rešenje je njihova aditivna kombinacija. U sluju da je parametar ν ceo broj, tada će prvi nenula koeficijent u drugom rešenju biti $c_{2\nu}$. a funkcije $J_{-\nu}(\beta r)$ i $J_\nu(\beta r)$ su linearno zavisne [4]. U tom slučaju drugo partikularno rešenje se definiše Beselovom funkcijom druge vrste reda ν: $Y_\nu(\beta r)$, slika 2.



Slika 2. *Besselove funkcije druge vrste nultog, prvog i drugog reda*

Njeno izvođenje prevazilazi nivo ovog rada. Linearna kombinacija ove dve funkcije daje opšte rešenje jednačine (3.4). U nekim situacijam (zavisno od znaka separacione konstante i formulacije problema) može se dobiti i modifikovana Beselova jednačina čija su rešenja modifikovane Beselove funkcije prve i druge vrste reda ν: $I_\nu(\beta r)$ i $K_\nu(\beta r)$. [1,3,4]

3. ŠTURM-LIUVILOV PROBLEM

Da bi jednačine (3.1-3.4) bile u potpunosti rešene za dati geometrijski i termički problem, uvek imaju prateće početne i granične uslove [1,4,6]. Granični problemi su neuporedivo složeniji i mogu imati nijedno, jedno, više od jednog ili beskonačno mnogo rešenja. Ako imaju parametar ξ (λ,η,ν) zovu se granični problemi sa sopstvenim vrednostima, a vrednosti parametra su sopstvene (karakteristične) vrednosti kojih ima beskonačno mnogo. Rešenja koja im odgovaraju nazivaju se sopstvene funkcije problema. Oni se izražavaju u Šturm-Liuvilovom obliku (Šturm Liuvilov problem): [1,5,6]

$$[p(x)y'(x)]' + [q(x) + \xi r(x)]y(x) = 0 \qquad (19.1)$$

$$A_1 y'(a) + A_2 y(a) = 0 \qquad (19.2)$$

$$B_1 y'(b) + B_2 y(b) = 0 \qquad (19.3)$$

Gde su a i b granice posmartanog intervala. Funkcije $p(x)$, $q(x)$ i $r(x)$ nakon transformacija date su u Tabeli II.

Tabela II *Funkcije za formiranje Šturm-Liuvilovog problema*

koordinata	Parametar ξ	$p(x)$	$q(x)$	$r(x)$
φ	ν^2	1	0	1
z	η^2	1	0	1
r	$\beta^2 = \lambda^2 - \eta^2$	r	$-\nu^2/r$	r

Posmatrajmo jedan granični uslov, npr. (19.2). Zavisno od tipa (homogenih) graničnih uslova kondukcije koeficijenti će imati vrednosti iz tabele III. Problem (19.1-19.3) ima beskonačno mnogo sopstvenih vrednosti i funkcija [1,5,6]. Sopstvene funkcije su ortogonalne tj važi:

$$\int_a^b r(x)y_n(x,\lambda_n)y_m(x,\lambda_m)dx = \begin{cases} 0, za\ n \neq m \\ N(\lambda_n), za\ n = m \end{cases} \qquad (20)$$

$N(\lambda_n)$ predstavlja normu funkcije $y_n(x)$ i definisana je sa:

$$N(\lambda_n) = \int_a^b r(x)y_n^2(x,\lambda_n)dx \qquad (21)$$

Tabela III *Karakteristične vrednositi koeficijenata homogenih graničnih uslova*

granični uslov	A_1	A_2
Prve vrste	*0*	1
Druge vrste, uslov simetrije	*1*	0
Treće vrste	*-k*	$\pm h$

Analizirani granični problemi rešavaju se tako što se jednim graničnim uslovom određuje konstanta, dok se drugim formiraju transcendentne jednačine za određivanje sopstvenih vrednosti i funkcija. Da bi se na jednačinu (1) primenila metoda razdvajanja promenljivih, znak konstanti razdvajanja bira se tako da se formira Šturm-Liuvilov problem u dimenziji sa homogenim graničnim uslovima. Time se obezbeđuju ortogonalne funkcije potrebne za određivanje konstanti Furije-Beselovog reda.

3. REŠENJE TRANSPORTNE JEDNAČINE TRODIMENZIONE KONDUKCIJE U POLARNO-CILINDRIČNOM KOORDINATNOM SISTEMU

U ovom delu je predočen primer nestacionarne toplotne kondukcije u polarno-cilindričnom koordinatnom sistemu sa homogenim graničnim uslovima. [1] Posmatra se pun cilindar konačne dužine - $0 < r < b$, $0 < z < L$, $0 < \varphi < 2\pi$:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \qquad (22)$$

Sa početnim i graničnim uslovima:

$$T|_{t=0} = F(r, z, \varphi) \qquad (23.1)$$

$$T|_{r=0} \neq \infty \qquad (23.2)$$

$$-k\frac{\partial T}{\partial r}\Big|_{r=b} = hT|_{r=b} \qquad (23.3)$$

$$T(\varphi) = T(\varphi + 2\pi) \qquad (23.4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi}\Big|_{\varphi} = \frac{\partial T}{\partial \varphi}\Big|_{\varphi+2\pi} \qquad (23.5)$$

$$\frac{\partial T}{\partial z}\Big|_{z=0} = 0 \qquad (23.6)$$

$$-k\frac{\partial T}{\partial z}\Big|_{z=L} = hT|_{z=L} \qquad (23.7)$$

Granični uslovi su homogeni, dok je početni nehomogen tako da se može odmah pristupiti primeni metoda razdvajanja promenljivih. Potrebno je na osnovu zadatih graničnih uslova i navedenih pravila prvo rešiti Šturm-Liuvilove probleme po svim koordinatama (tabela IV). Izuzetak se javlja kod uglovne koordinate, gde je uslov periodičnosti zadovoljen kada je ν ceo nenegativan broj, tako da se obe konstante uvršćuju u izraz za temperatursko polje (2):

$$T(r, z, \varphi, t) = \sum_{m=0}^{\infty}\sum_{\nu=0}^{\infty}\sum_{p=1}^{\infty} J_\nu(\beta_{\nu p} r)\cos\eta_m z\,(a_{\nu mp}\cos\nu\varphi + b_{\nu mp}\sin\nu\varphi)e^{-\alpha\lambda_{\nu mp}^2 t} \qquad (24)$$

Novodobijene konstante su: $a_{\nu mp} = C_1C_2C_4C_6$ i $b_{\nu mp} = = C_1C_2C_5C_6$.

Tabela IV *Granični problemi razmatranog primera*

Koordi -nata	Poznatak onstanta	jednačina za određivanje sopstvenih vrdnosti	sopstvene vrednosti
z	$C_3 = 0$	$\eta\text{tg}(\eta L) = h/k$	η_m
r	$C_7 = 0$	$dJ_\nu(\beta r)/dr\|_{r=b} + \frac{h}{k}\cdot J_\nu(\beta b) = 0$	$\beta_{\nu p}$
φ		$\nu = 0,1,2,3,\ldots$	ν

One se izračunavaju sada zamenom nehomogenog uslova (23.1) u jednačinu i primenom svojstva ortogonalnosti sopstvenih funkcija na gornji izraz. Za određivanje prve konstante potrebno je sukcesivno primeniti sledeća tri integralna operatora:

$$\int_0^b r\,J_\nu(\beta_{\nu l} r)dr,\ \int_0^{2\pi}\cos k\varphi\,d\varphi,\ \int_0^L \cos\eta_q z\,dz \qquad (25.1)$$

Za određivanje druge konstante na izraz (24), analogno prvoj, primenjuju se sledeći integralni operatori:

$$\int_0^b r\,J_\nu(\beta_{\nu l} r)dr,\ \int_0^{2\pi}\sin k\varphi\,d\varphi,\ \int_0^L \cos\eta_q z\,dz \qquad (25.1)$$

Kako je kod ovih funkcionalnih redova integral sume jednak sumi integrala, konstante su određene:

$$a_{\nu mp} = \frac{\int_0^L\int_0^{2\pi}\int_0^b r\,F(r,z,\varphi)J_\nu(\beta_{\nu p}r)\cos\eta_m z\cos\nu\varphi\,dr d\varphi dz}{\int_0^L\cos^2\eta_m z\,dz\int_0^b rJ_\nu^2(\beta_{\nu p}r)\,dr\int_0^{2\pi}\cos^2\nu\varphi\,d\varphi} \qquad (26.1)$$

$$b_{\nu mp} = \frac{\int_0^L\int_0^{2\pi}\int_0^b r\,F(r,z,\varphi)J_\nu(\beta_{\nu p}r)\cos\eta_m z\sin\nu\varphi\,dr d\varphi dz}{\int_0^L\cos^2\eta_m z\,dz\int_0^b rJ_\nu^2(\beta_{\nu p}r)\,dr\int_0^{2\pi}\sin^2\nu\varphi d\varphi} \qquad (26.2)$$

4. REŠAVANJE NEHOMOGENIH PROBLEMA

U radu su analizirani problemi nestacionarne kondukcije bez izvora toplote i sa homogenim graničnim uslovima. Često se javljaju i problemi sa nehomogenim (izvornim) članom ili nehomogenim graničnim uslovima. Najčešće metode za njihovo rešavanje su translacija temperaturne skale i princip superpozicije. Prvi metod se primenjuje kada granični uslovi sadrže konstantu T_0, pa se dobija nova funkcija: $\Theta(r, \varphi, z, t) = T(r, \varphi, z, t) - T_0$ čime se problem svodi na homogeni oblik. Metod superpozicije koristi se za rešavanje nehomogenih linearnih jednačina sa nehomogenim početnim i graničnim uslovima. Rešenje se tada predstavlja kao zbir homogenog nestacionarnog i nehomogenog stacionarnog dela: $T(r, \varphi, z, t) = T_H(r, \varphi, z, t) + T_S(r, \varphi, z)$. Stacionarni deo T_S dalje se razlaže na prostije probleme koji se rešavaju direktnim metodama. Detaljniji postupka dat je u literaturi [1].

5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani matematički aspekti nestacionarne toplotne kondukcije sa posebnim osvrtom na polarno-cilindrični koordinatni sistem. Analiza je sprovedena uz pretpostavku konstantnih karakteristika materijala, što predstavlja idealizaciju i u realnim uslovima može dovesti do odstupanja. Za složenije probleme mogu se primeniti analitičke metode kao što su primena Duhamelove teoreme, Grinove funkcije, Laplasove transformacije itd. ali su one uglavnom ograničene na jednostavne geometrije. Zbog toga je za probleme sa složenom geometrijom ili uslovima najčešće neophodna primena numeričkih metoda, kao što su metod konačnih razlika i metod konačnih zapremina.

LITERATURA

[1] D. H. Hahn and M. N. Ozisik, Heat conduction, third edition, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2012

[2] G. Ilić. M. Vukić, N. Radojković, P. Živković, I. Stojanović, Termodinamika II – osnove prostoranja toplote i materije, Niš: Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu, 2014

[3] Lj. Ćirić, Specijalne funkcije, prvo izdanje, Beograd: Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1984

[4] M. D. Raisinghania, Ordinary and partial differential equations, Fifteenth revised edition revised edition, Ramnagar, New Delhi: S. Chand & Company LTD, 2013

[5] D. S. Mitrinović, J. D. Kečkić, Jednačine matematičke fizike, Beograd: Građevinska knjiga, 1972

[6] M. Masjed-Jamei, Special functions and generalized Sturm-Liouville problems, Cham: Birkhäuser, 2020

UTICAJ BRZINE POMOĆNOG KRETANJA NA KVALITET REZA BUKOVIH TRUPACA PRI REZANJU TRAČNOM TESTEROM

THE INFLUENCE OF THE SPEED OF THE AUXILIARY MOVEMENT ON THE QUALITY OF THE CUT OF BEECH LOGS WHEN CUTTING WITH A BAND SAW

Damjan Stanojević, Saša Đorđević

Sadržaj – U ovom radu predstavljen je uticaj brzine pomoćnog kretanja kao nezavisne promenljive na kvalitet površine reza kao zavisne promenljive pri rezanju bukovih trupaca. Tehnološki proces rezanja izvršen je na tračnoj testeri kao baznoj mašini u primarnoj preradi drveta. Korekcija brzine pomoćnog kretanja vršena je na osnovnu signalnog uređaja tj. elektromagnetnog senzora koji je davao signal u slučaju prekomernog lateralnog pomeranja testere. Parametar kvaliteta površine reza bukovih trupaca bio je debljina izrezanog sortimenta.

Ključne reči: Kvalitet reza, bukva, tračna testera.

Abstract – This paper presents the influence of the speed of the auxiliary movement as an independent variable on the quality of the cut surface as a dependent variable when cutting beech logs. The technological process of cutting was performed on a band saw as the basic machine in primary wood processing. The correction of the speed of the auxiliary movement was performed on the basis of the signal device, ie. electromagnetic sensor that gave a signal in case of excessive lateral movement of the saw. The quality parameter of the cut surface of beech logs was the thickness of the cut assortment.

Keywords: Cut quality, beech, band saw.

1. UVOD

Obrada bukve zahteva pojedinačne rezove, zbog prisustva lažne srčevine, kako bi se povećalo kvalitativno, a samim tim i kvantitativno iskorišćenje sirovine. Prilikom rezanja trupaca tračnim testerama, zbog izraženih brzina kretanja, dolazi do bočnog pomeranja testere. Razlog za to je povećan pritisak na zadnju stranu zubaca. Rezultujuća sila na zadnjoj strani je mnogo veća od rezultujuće sile na prednjoj strani To rezultira nestabilnošću zubaca i neprimetnim puzanjem cele testere u zoni rezanja. Testera više nije paralelna putanji rezanja i stoga dolazi do postepenog zakrivljenja reza. Ako se pritisak ne smanji, tj. brzina kretanja ostane ista, a još gore, povećava se, ova zakrivljenost reza će se povećati. Predmet ovog rada je povećanje kvaliteta reza pri rezanju bukovih trupaca na tračnoj testeri uz primenu signalnih uređaja za korekciju pomoćnog kretanja, u odnosu na varijabilnost dimenzija sortimenata, kroz kontrolu putanje reza. Zbog različitih razloga (nedovoljno zategnuta testera, prekomerni pritisak na zadnju stranu zubaca usled prevelike brzine kretanja ili zatupljenosti testere) testera u procesu rezanja može biti pomerana bočno i kao rezultat toga mogu se dobiti sortimeti sa nejednakom debljinom po svojoj dužini. Primenom elektromagnetnog senzora, postavljenog na gornjoj vođici i svetlosne signalizacije, radnik može blagovremeno reagovati smanjenjem brzine pomoćnog kretanja, tako da bočno pomeranje testere bude u manjim granicama.

Damjan Stanojević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17501 Vranje (imejl: damjan.stanojevic@akademijanis.edu.rs).

Saša Đorđević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17501 Vranje (imejl: sasa.djordjevic@akademijanis.edu.rs

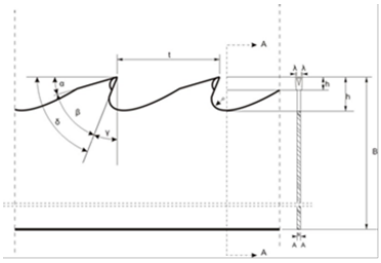
2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Signalni uređaji za blagovremeno otkrivanje bočnog pomeranja testere omogućavaju brzine kretanja bliske optimalnim. Na ovaj način, efekat je dvostrani. Dobiće se sortimenti jednake debljine po dužini i povećaće se kapacitet mašine. Upotreba signalizacije takođe smanjuje dugoročnu koncentraciju radnika, na vizuelno praćenje testere. Na ovaj način, on može posvetiti više pažnje drugim aktivnostima, opet vezanim za količinu i kvalitet obrade.

Shodno tome, cilj ovog istraživanja je povećanje količine i kvaliteta reza bukovih trupaca tračnom testerom korišćenjem elektromagnetnog senzora i svetlosnog signalnog uređaja u sprezi, radi blagovremene korekcije brzine pomoćnog kretanja, uz održavanje bočnog pomeranja testere u dozvoljenim granicama, što će rezultirati većom tačnošću dimenzija rezane građe u debljini, povećanjem kvaliteta reza kod tračnih testera korišćenjem signalnih uređaja za korekciju brzine pomoćnog kretanja.

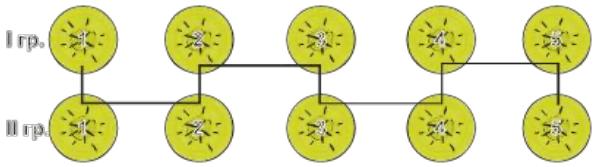
3. METODOLOGIJA

Tehnološki postupak rezanja trupaca izvršen je na tračnoj testeri. Na slici 1 data je geometrija alata.



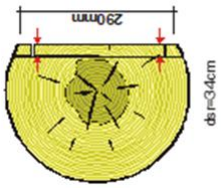
Slika 1. *Geometrija alata*

Da bi se dobili precizniji rezultati merenja koji se mogu uporediti sa visokom tačnošću, odabrano je 10 trupaca sa gotovo identičnim karakteristikama i prečnicima. Oni su grupisani u dve grupe od po 5 trupaca. Prva grupa od pet trupaca je rezana bez korišćenja elektromagnetnog senzora i signalnog svetla, a druga grupa od pet trupaca je rezana korišćenjem elektromagnetnog senzora i signalnog svetla, u proizvodnim uslovima. Prvo je obrađen prvi trupac iz prve grupe, zatim prvi trupac iz druge grupe, pa drugi trupac iz druge grupe i tako dalje (Slika 2). Na ovaj način se u velikoj meri izbegava uticaj zatupljivanja zubaca.

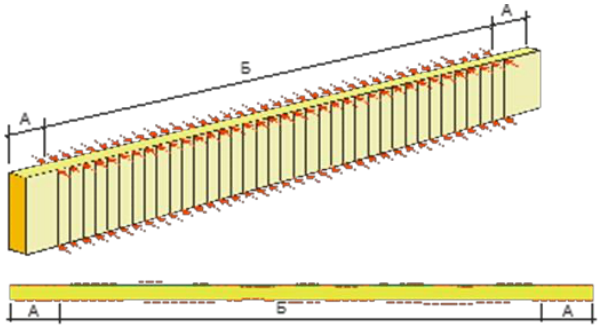


Slika 2. *Redosled rezanja bukovih trupaca*

Osnova rezanja kod svih trupaca je identična, pri čemu smo dobili iste visine rezanja u svim trupcima u odnosu na broj rezova, a različite u odnosu na rezove u samo jednom trupcu (Slika 3).



Slika 3. *Poprečni presek trupca sa naznačenim izrezanim sortimentom*



Slika 4. *Merna mesta za merenje odstupanja debljine sortimenta*

.

Da bismo izbegli vreme pripreme, tj. manipulaciju trupcima i druga vremena pripreme, kao promenljivu veličinu, merili smo samo aktivno vreme rada, tj. samo vreme bičevanja, za svaku dasku, tj. dasku posebno.

Brzinu kretanja kolica (brzinu pomoćnog kretanja) kontroliše radnik koji rukuje tračnom testerom. Njena vrednost je promenljiva i razmatrana je kao funkcija aktivnog vremena rada. Vreme rezanja je mereno štopericom i zabeleženo u tabeli odgovarajućoj za svaki trupac.

Metod merenja odstupanja debljine (varijabilnosti) je prikazan na slici 4. Ova slika prikazuje referentnu zonu debljine (A) i zonu merenja odstupanja (B). Referentna zona debljine je dobijena postepenim, tj. malom brzinom, prodiranjem 25 cm od prednje strane trupca na početku procesa rezanja. Takođe, 25 cm pre kraja reza, brzina kretanja je smanjena na minimum. Na ovaj način se dobija referentna (stvarna) debljina daske. Između ove dve referentne zone, merenja odstupanja debljine su izvršena na tačno 37 lokacija. Rastojanje između lokacija merenja je 10 cm, što znači da je dužina zone merenja 3,60 m. Odstupanje je mereno na sledeći način: digitalnim kljunastim merilom, debljina je merena na oba kraja daske. Prosečna vrednost ova dva merenja predstavlja referentnu debljinu. Podešavamo kalibar na dobijenu prosečnu vrednost, a zatim ga resetujemo na "0". Nadalje, svako merenje debljine u zoni merenja odstupanja meri samo odstupanja, sa pozitivnim ili negativnim znakom. Pozitivan znak znači da imamo zadebljanje daske i obrnuto, stanjivanje daske. Za svaki rez dobija se 37 merenja iznad i 37 merenja dole, posebno za svaku dasku.

4. REZULTATI

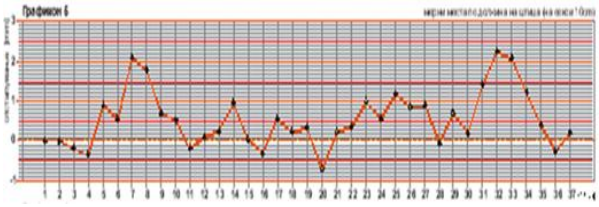
Dobijena merenja su predstavljena u tabeli i na grafikonima. Kolone jasno prikazuju merenja za svaku dasku (ploču) respektivno za svaki rez, bez signalnog uređaja i sa signalnim uređajem (npr.: B1/1 znači da su merenja izvršena bez signalnog uređaja, prvi trupac, prva daska-ploča i S 1/1 da su merenja izvršena sa signalnim uređajem za prvu dasku-ploču, itd.). Radi jasnijeg pregleda statističkih pokazatelja, odgovarajuće kolone za odgovarajuće rezove, bez upotrebe i sa upotrebom signalizacije, postavljene su jedna pored druge. „g“ i „e“ označavaju mesto gde su merenja izvršena, tj. iznad ili ispod daske. Pozitivan ili negativan znak pokazuje odstupanje debljine u pozitivnom ili negativnom smeru. Na kraju svake tabele prikazana je statistička obrada podataka, koja sadrži: srednju vrednost, standardnu grešku srednje vrednosti, maksimalnu vrednost odgovarajućeg merenja, standardnu devijaciju i koeficijent varijacije.

Tabela I *Parametri kojima se definiše sredina*

Табела 1/1. Мерења на отстапувањето во горниот (г) и долниот (д) дел од штицата, без (Б) и со (С) користење на сигнален уред и статистичка обработка на мерењата

	Б 1/1		С 1/1		Б 1/2		С 1/2		Б 1/3		С 1/3	
	г [mm]	Д [mm]	г [mm]	Д [mm]	г [mm]	Д [mm]	г [mm]	Д [mm]	г [mm]	Д [mm]	г [mm]	Д [mm]
1	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,00	+ 0,20	+ 0,00	+ 0,40	+ 0,15	+ 0,00	- 0,15	+ 0,05	+ 0,05	+ 0,20
2	+ 0,00	+ 0,15	- 0,15	+ 0,40	+ 0,00	+ 0,35	+ 0,15	+ 0,15	- 0,15	+ 0,10	+ 0,20	+ 0,00
3	+ 0,45	+ 0,60	+ 0,20	+ 0,50	- 0,15	+ 1,30	+ 0,40	+ 0,35	+ 0,25	+ 0,80	+ 0,55	+ 0,50
4	+ 0,20	+ 0,30	- 0,15	- 0,15	- 0,35	+ 1,35	- 0,50	+ 0,10	+ 0,30	+ 0,70	+ 0,10	+ 0,45
5	+ 0,85	+ 0,90	+ 0,30	+ 0,30	+ 0,90	+ 1,85	+ 0,60	+ 0,65	+ 1,90	+ 0,90	+ 0,70	+ 0,65
6	+ 1,10	+ 0,90	+ 0,40	- 0,05	+ 0,55	+ 1,75	+ 0,35	+ 0,65	+ 2,10	+ 1,50	+ 0,05	+ 0,45
7	+ 1,45	+ 1,30	+ 0,45	+ 0,50	+ 2,10	+ 1,50	+ 0,45	+ 0,60	+ 1,75	+ 1,20	+ 0,10	+ 0,05
8	+ 1,00	+ 0,95	+ 0,15	- 0,10	+ 1,80	+ 2,05	+ 0,40	+ 0,45	+ 0,95	+ 1,05	+ 0,20	+ 0,10
9	+ 1,05	+ 0,90	+ 0,20	+ 0,60	+ 0,70	- 0,05	- 0,05	+ 0,30	+ 0,20	+ 0,45	+ 0,30	- 0,25
10	+ 0,30	+ 0,30	- 0,15	- 0,45	+ 0,50	- 0,20	+ 0,05	- 0,05	+ 0,35	+ 0,05	+ 0,10	+ 0,20
11	+ 0,20	+ 0,70	+ 0,15	+ 0,50	- 0,20	+ 0,05	+ 0,30	+ 0,35	+ 0,20	+ 0,95	+ 0,10	+ 0,25
12	+ 0,10	+ 0,80	- 0,05	- 0,05	+ 0,10	- 0,10	+ 0,15	- 0,45	- 0,45	+ 0,15	+ 0,30	- 0,15
13	+ 1,05	+ 1,35	+ 0,10	+ 0,10	+ 0,25	+ 0,40	- 0,70	- 0,55	+ 1,05	- 0,25	+ 0,40	+ 0,20
14	+ 0,60	+ 1,75	+ 0,10	- 0,10	+ 0,95	+ 0,30	+ 0,80	- 0,35	+ 1,65	+ 0,75	+ 0,40	- 0,15
15	+ 0,80	+ 1,65	+ 0,20	+ 0,55	+ 0,05	+ 0,60	+ 0,45	+ 0,75	+ 1,20	+ 1,05	+ 0,85	+ 0,55
16	+ 0,45	+ 1,90	+ 0,00	+ 0,50	- 0,30	+ 0,15	+ 0,30	+ 0,30	+ 0,80	+ 1,45	+ 0,40	+ 0,70
17	+ 0,50	+ 2,20	+ 0,40	+ 0,20	+ 0,55	- 0,25	- 0,25	+ 0,20	+ 0,80	+ 0,95	+ 0,15	+ 0,15
18	- 0,25	+ 1,70	+ 0,25	+ 0,40	+ 0,20	+ 0,45	+ 0,85	+ 0,45	- 0,10	+ 0,60	+ 0,40	+ 0,20
19	- 0,20	+ 1,15	+ 0,20	- 0,25	+ 0,35	+ 0,60	+ 0,15	- 0,25	+ 1,75	+ 0,35	+ 0,15	+ 0,10
20	- 0,45	+ 0,50	+ 0,00	+ 0,20	- 0,70	+ 0,20	+ 0,60	+ 0,45	+ 0,65	- 0,50	+ 0,30	+ 0,75
21	- 0,20	- 0,25	- 0,40	+ 0,45	+ 0,20	+ 0,10	+ 0,05	+ 0,25	- 0,60	- 0,25	+ 0,10	+ 0,10
22	- 0,05	+ 0,30	- 0,55	+ 0,20	+ 0,35	+ 1,15	+ 0,20	+ 0,55	- 0,90	+ 1,70	+ 0,60	+ 0,65
23	+ 0,55	+ 0,65	+ 0,15	+ 0,05	+ 1,00	+ 0,30	- 0,20	- 0,20	- 0,15	+ 1,80	+ 0,35	+ 0,00
24	+ 0,35	+ 0,35	+ 0,20	+ 0,20	+ 0,55	+ 0,55	- 0,05	+ 0,35	+ 1,10	- 0,15	+ 0,20	- 0,05
25	+ 0,85	+ 1,35	- 0,45	+ 0,00	+ 1,20	+ 0,95	+ 0,40	- 0,20	+ 1,25	- 0,25	+ 0,05	- 0,15
26	+ 0,40	+ 1,75	+ 0,20	- 0,05	+ 0,85	+ 1,65	+ 0,30	+ 0,40	+ 1,30	+ 1,20	+ 0,00	- 0,45
27	+ 0,70	+ 0,85	- 0,50	+ 0,15	+ 0,90	+ 1,15	+ 0,25	- 0,30	+ 1,50	+ 1,25	+ 0,20	+ 0,00
28	+ 0,65	+ 1,00	+ 0,20	- 0,15	- 0,05	+ 0,30	- 0,75	+ 0,20	+ 1,85	+ 1,75	+ 0,25	+ 0,20
29	+ 0,45	+ 0,70	- 0,05	+ 0,15	+ 0,60	+ 0,70	+ 0,10	- 0,50	+ 0,90	+ 0,65	+ 0,20	+ 0,25
30	+ 0,10	+ 1,10	+ 0,70	+ 0,50	+ 0,20	+ 0,85	+ 0,20	- 0,60	+ 1,95	+ 1,65	+ 0,40	+ 0,10
31	+ 0,65	+ 0,95	+ 0,20	+ 0,45	+ 1,40	+ 1,30	- 0,10	+ 0,10	+ 0,80	+ 1,50	+ 0,60	- 0,15
32	+ 0,60	+ 0,70	- 0,30	+ 0,40	+ 2,20	+ 1,60	- 0,30	- 0,20	+ 1,15	+ 1,85	+ 0,50	+ 0,20
33	+ 0,85	+ 0,90	- 0,20	+ 0,05	+ 2,10	+ 2,80	- 0,20	+ 0,05	+ 1,20	+ 1,55	+ 0,40	- 0,25
34	+ 1,90	+ 1,10	- 0,35	+ 0,15	+ 1,25	+ 2,20	- 0,35	- 0,20	+ 0,30	+ 1,00	+ 0,40	+ 0,50
35	+ 2,15	+ 0,60	+ 0,45	- 0,65	+ 0,40	+ 0,70	- 0,15	- 0,65	+ 0,05	+ 0,45	+ 0,10	+ 0,25
36	+ 0,45	+ 0,10	+ 0,50	- 0,20	- 0,25	- 0,05	- 0,10	- 0,20	+ 0,10	+ 0,50	+ 0,00	+ 0,15
37	+ 0,20	+ 0,00	+ 0,05	+ 0,05	+ 0,20	+ 0,00	+ 0,35	+ 0,05	- 0,10	+ 0,20	+ 0,00	+ 0,20
Статистичка обработка на мерењата												
Xsr =	0,60 mm	0,88 mm	0,24 mm	0,27 mm	0,66 mm	0,82 mm	0,32 mm	0,34 mm	0,86 mm	0,85 mm	0,27 mm	0,26 mm
Sx =	0,08 mm	0,09 mm	0,03 mm	0,03 mm	0,10 mm	0,12 mm	0,04 mm	0,03 mm	0,10 mm	0,09 mm	0,03 mm	0,03 mm
max=	2,15 mm	2,20 mm	0,70 mm	0,65 mm	2,20 mm	2,80 mm	0,85 mm	0,75 mm	2,10 mm	1,85 mm	0,85 mm	0,75 mm
SD =	0,49 mm	0,56 mm	0,17 mm	0,19 mm	0,61 mm	0,72 mm	0,22 mm	0,20 mm	0,63 mm	0,57 mm	0,21 mm	0,21 mm
KV =	81,99 %	63,24 %	69,95 %	70,58 %	92,84 %	88,28 %	69,43 %	59,56 %	73,48 %	66,61 %	76,56 %	78,82 %

Na slici 5 prikazano je kretanje odstupanja debljine daske od referentne vrednosti.



Slika 5. *Primer grafikona odstupanja debljine daske od referentne vrednosti*

5. ANALIZA REZULTATA I DISKUSIJA

Upotreba elektromagnetnog senzora pričvršćenog na gornju vođicu, koji je povezan sa mernim instrumentom i rasvetnim elementima u ovom radu, pokazala je izražen pozitivan efekat na smanjenje bočnog pomeranja testere. Merne vrednosti pokazale su dva do tri puta manje bočno pomeranje testere pri korišćenju signalizacionog uređaja u poređenju sa bočnim pomeranjem testere bez korišćenja signalizacionog uređaja. Razlog za ove pozitivne rezultate je pre svega blagovremena korekcija brzine pomeranja na manje vrednosti.

Mnogi autori u svojim istraživanjima navode i druge razloge za bočno pomeranje testere, kao što su: nedovoljna zategnutost testere, njena loša priprema za rad (asimetrični glavni noževi, loše kotrljanje testere, pomeranje točkova, habanje pogona nosača trupaca itd.), mehanička svojstva, struktura i sadržaj vlage drveta, geometrijski oblik alata, relativni smer sile rezanja u odnosu na protezanje drvenih vlakana, oblik strugotine i veličina poprečnog preseka i brzina kretanja obrađenog drveta (Breznjak, Zubčevič, Klinčarov, Trposki itd.). Međutim, kada se ovo isključi, ponovo se ističe neadekvatna brzina kretanja kolica kao razlog.

6. ZAKLJUČAK

Vrednosti merenja su pokazale dva do tri puta manje bočno pomeranje testere pri korišćenju signalizacionog uređaja u poređenju sa bočnim pomeranjem testere bez korišćenja signalizacionog uređaja.

Statistička obrada merenja za prve tri daske svih trupaca iz obe grupe pokazuje da svi statistički pokazatelji kod merenja bez korišćenja signalizacije imaju dva do tri puta veće vrednosti, tj. srednju vrednost, 0,60 mm < B xsr < 0,88 mm, i 0,24 mm < C xsr < 0,34 mm. Standardna greška merenja Sx kod merenja bez signalizacije (prva grupa) kreće se od 0,09 do 0,12 mm, dok kod merenja sa signalizacijom (druga grupa) od 0,03 do 0,04 mm i tri puta je veća. Maksimalna vrednost u prvoj grupi je 2,80 mm, a u drugoj 0,85 mm, tj. više od tri puta veća vrednost. Standardna devijacija SD u prvoj grupi kreće se od 0,49 do 0,72 mm, a u drugoj od 0,17 do 0,22 mm. Koeficijent varijacije merenja u obe grupe, za prva tri preseka, pokazuje izraženiju nehomogenost, tj. u prvoj grupi se kreće od 63,24 do 92,84%, dok se u drugoj kreće od 59,56 do 70,58%. Vrednosti koeficijenta varijacije merenja u drugoj grupi pokazuju veću homogenost.

Statistička obrada merenja za četvrtu, petu i šestu dasku svih trupaca iz obe grupe pokazuje da svi statistički pokazatelji u merenjima bez korišćenja signalizacije imaju više nego dvostruko veće vrednosti, tj. srednju vrednost, 0,53 mm < B xsr < 0,73 mm, i 0,26 mm < C xsr < 0,39 mm. Standardna greška merenja Sx u merenjima bez signalizacije (prva grupa) kreće se od 0,07 do 0,10 mm, dok u merenjima sa signalizacijom (druga grupa) od 0,03 do 0,05 mm. Maksimum u prvoj grupi je 2,45 mm, a u drugoj 1,15 mm. Standardna devijacija SD u prvoj grupi kreće se od 0,43 do 0,58 mm, a u drugoj od 0,19 do 0,31 mm. Koeficijent varijacije merenja u obe grupe, za prva tri reza, pokazuje izraženiju nehomogenost, tj. u prvoj grupi kreće se od 68,16 do 83,60%, dok u drugoj od 57,80 do 80,86%. Vrednosti koeficijenta varijacije su u korist druge grupe.

Kod sedme, osme i devete daske kod svih trupaca iz obe grupe primećujemo da svi statistički pokazatelji u merenjima bez korišćenja signalizacije imaju više nego dvostruko veće vrednosti, tj. srednju vrednost, 0,31 mm < B xsr < 0,50 mm, i 0,18 mm < C xsr < 0,31 mm. Standardna greška merenja Sx u merenjima bez signalizacije (prva grupa) kreće se od 0,03 do 0,07 mm, dok u merenjima sa signalizacijom (druga grupa) od 0,02 do 0,03 mm. Maksimum za prvu grupu je 1,5 mm, a za drugu 0,95 mm. Standardna devijacija SD za prvu grupu kreće se od 0,19 do 0,42 mm, a za drugu od 0,13 do 0,2 mm. Koeficijent varijacije merenja za obe grupe, za prva tri preseka, pokazuje izraženiju nehomogenost, tj. za prvu grupu kreće se od 60,22 do 84,98%, dok za drugu od 64,92 do 69,68%.

Osnovni zaključak je da je smanjenje lateralnog pomeranja testere moguće smanjenjem brzine pomoćnog kretanja.

LITERATURA

[1] Breznjak M., Moen K., On the lateral movement of the bandsaw blade under various sawing conditions, Blindern: Norsk Tretehnisk institutt 46, 1972.

[2] Hutton S. G., The dinamics of circular saw blades, Munchen: Holz als Roh-und Werkstoff 49, 105-10, 1991.

[3] Koljozov K., Merenje i kontrola, Skopje: Univerzitet "Kiril i Metodij", 1980.

[4] Trposki Z., Automatic control of citting vibrations in primary woodworking proces, gr. av., Robotika vo Alpsko-adriati~kiot region, 11-16, Krems - Austria, 1993.

[5] Zubcevic R., Masine za obradu drveta-Teorija rezanja, I deo, Sarajevo, 1988.

[6] Wilkowski J., Górski J. Vibro-acoustic signals as a source of information about tool wear during laminated chipboard milling, Wood Research 56(1):57-66, Slovak Forest Products Research Institute Bratislava, 2011.

[7] Stanojevic, D., Mandic,M., Danon, G., Svrzic, S., Prediction of the surface roughness of wood for machining, Northeast Forestry University and Springer-Verlag Berlin Heidelberg , 2017.

[8] Naylor, A., Hackney, P., A Review of Wood Machining Literature with a Special Focus on Sawing, BioResources 8(2), 3122-3135, 2013.

PRIMENA MODELA ZASNOVANIH NA VNM ZA PREDVIĐANJE KONCENTRACIJE Pb U FRAKCIJI PM10 SUSPENDOVANIH ČESTICA

APPLICATION OF ANN-BASED MODELS FOR PREDICTING Pb CONCENTRATIONS IN THE PM10 FRACTION OF PARTICULATE MATTER

Lidija Stamenković i Tijana Milanović

Sadržaj – U ovom radu su primenjeni modeli zasnovani na veštačkim neuronskim mrežama za predviđanje koncentracije Pb u frakciji PM10 suspendovanih čestica na teritoriji Grada Bora. Agencija za zaštitu životne sredine RS (SEPA), u skladu sa svojim preuzetim međunarodnim obavezama u pogledu kvaliteta vazduha, sprovodi sistematsko praćenje kvaliteta vazduha u okviru državne monitoring mreže, u skladu sa Uredbom o Programu kontrole kvaliteta vazduha („Službeni glasnik RS", br. 58/11). SEPA prikuplja i obrađuje podatke sa svih mernih mesta u državnoj monitoring mreži, kao i iz lokalnih mreža jedinica lokalne samouprave. Kao ulazni podaci za razvoj modela korišćeni su dostupni podaci o srednjim godišnjim koncetracijama teških metala u suspendovanim česticama As, Cd i Ni, kao i koncentracije SO_2. Pored toga, kao ulazni parametri korišćeni su i podaci Republičkog zavoda za statistiku i to broj registrovanih vozila (RV) i broj zaposlenih u oblasti rudarstva (RZR). Ulazni parametri odabrani su analizom o uticaju antropogenih izvora na emisiju Pb, na osnovu čega se moglo pretpostaviti da ovi parametri mogu imati uticaja na sadržaj olova u frakciji suspendovanih čestica. Podaci od 2016. do 2023. su korišćeni za trening i testiranje neuronskih mreža, pri čemu su u radu primenjena dva tipa neuronskih mreža i to *Multilayer Perceptron* (MLP) i *Radial Basis Function* (RBF). Rezultati kreiranih modela su procenjeni na osnovu vrednosti koeficijenta determinacije (R^2). Dobijeni rezultati su pokazali da model zasnovan na RBF pokazuje veoma dobre rezultate predviđanja koncentracije Pb u frakciji PM10 suspendovanih čestica, sa vrednošću koeficijenta determinacije od 0,965 za RBF i nešto slabije rezultate za MLP 0,835.

Ključne reči: VNM, suspendovane čestice, PM10, kvalitet vazduha, teški metali.

Abstract – In this study, models based on artificial neural networks were applied to predict Pb concentration in the PM10 fraction of suspended particles in the territory of the City of Bor. The Environmental Protection Agency of the Republic of Serbia (SEPA), in accordance with its international obligations regarding air quality, systematically monitors air quality within the state monitoring network, in line with the Regulation on the Air Quality Control Program ("Official Gazette of the RS", No. 58/11). SEPA collects and processes data from all monitoring stations in the national network, as well as from local networks operated by local self-government units. As input data for model development, available data on average annual concentrations of heavy metals in suspended particles — As, Cd, and Ni — as well as SO_2 concentrations were used. In addition, data from the Statistical Office of the Republic of Serbia were included, specifically the number of registered vehicles (RV) and the number of employees in the mining sector (RZR). The selection of these input parameters was based on an analysis of the influence of anthropogenic sources on Pb emissions, suggesting that these parameters could have an impact on the lead content in the fraction of suspended particles. Data from 2016 to 2023 were used for the training and testing of neural networks. Two types of neural networks were applied in the study: the Multilayer Perceptron (MLP) and the Radial Basis Function (RBF) network. The performance of the developed models was evaluated using the coefficient of determination (R^2). The obtained results showed that the RBF-based model achieved very good predictive performance for Pb concentration in the PM10 fraction of suspended particles, with an R^2 value of 0.965, while the MLP model produced slightly weaker results, with an R^2 of 0.835.

Keywords: ANN, particulate matter, PM10, air quality, heavy metals.

1. UVOD

Zagađenje vazduha je jedan od vodećih globalniih ekoloških problema i predstavlja značajan rizik za zdravlje. Suspendovane čestice spadaju u red polutanata vazduha koje imaju višestuki negativan efekat po zdravlje ljudi. Hemijski sastav suspendovanih čestica, pored njihove veličine i koncentracije od ključnog je značaja za njihovu toksičnost [1], [2]. Teški metali vezani za suspendovane čestice mogu se transportovati na velike udaljenosti, čime je njihov negativan efekat na sve segmente životne sredine izraženiji.

Lidija Stamenković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija-Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje, (imejl: lidija.stamenkovic@akademijanis.edu.rs).

Tijana Milanović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija-Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: tijana.milanovic@akademijanis.edu.rs).

U tom smislu su od krucijalnog značaja istraživanja vezana za sadržaj teških metala koji su vezani za suspendovane čestice u urbanim sredinama. Jedan od polutanata koji mogu biti vezani za suspendovane čestice je i olovo (Pb). Toksična svojstva olova po ljudsko zdravlje su poznati već dugo i oni obuhvataju neurodegenerativne, kardiovaskularne, bubrežne i druge efekte [1].

Direktiva (EU) 2024/2881 o kvalitetu ambijentalnog vazduha i čistijem vazduhu za Evropu, između ostalog propisuje i ciljne granične vrednosti za zaštitu ljudskog zdravlja koje treba dostići do 1. januara 2030. godine. Kada je reč olovu granična vrednost za kalendarsku godinu iznosi 0,5 $\mu g/m^3$ [3].

Prema Direktivi (EU) 2024/2881 primena modelovanja i drugih tehnika za procenu polutanata u vazduhu u zonama sa prekoračenjem graničnih vrednosti se propisuje zajedno sa

upotrebom fiksnih, standardnih merenja. U tom smislu dodatno prećenje polutanata u ambijentalnom vazduhu alternativnim modelima doprinosi boljem razumevanju nivoa zagađenja i njegovog širenja [3].

U ovom radu istraživana je mogućnost primene veštačkih neuronskih mreža (VNM) za predviđanje koncentracije Pb u frakciji PM10 suspendovanih čestica. VNM su u proteklom periodu zauzele veoma značajno mesto u predikciji različitih polutanata vazduha, i predmet su primene u brojnim istraživanjima. Literaturni podaci su pokazali da se primena VNM zasniva na njihovoj predikciji za različite vremenske intervale, koji uključuju satne, dnevne, mesečne i godišnje [4]-[10]. Brojna istraživanja pokazuju da primena ANN tehnike daje preciznije predviđanje polutanata u odnosu na tradicionalne metode i da na rezultate predviđanja ANN modela u najvećoj meri utiče izbor ulaznih parametara za razvoj modela, kao i tip algoritama primenjenih u arhitekturi modela[11].

2. METODOLOGIJA

Jedan od najznačajnijih koraka prilikom razvoja modela zasnovanog na VNM je izbor ulaznih paramaetara. U tom smislu su, a na osnovu bronih istraživanja koja su sprovedena u ovoj oblasti, izabrana šest ulaznih paramatra za koje se pretpostavilo da mogu uticati na koncentraciju Pb u frakciji suspendovanih čestica [1], [2]. Kao ulazni podaci za razvoj modela korišćeni su dostupni podaci o srednjim godišnjim koncetracijama teških metala u suspendovanim česticama As, Cd i Ni, kao i koncentracije SO_2 koji su deo redovnog monitoringa Agencije za zaštitu životne sredine [12]. Pored toga, kao ulazni parametri korišćeni su i podaci Republičkog zavoda za statistiku i to broj registrovanih vozila (RV) i broj zaposlenih u oblasti rudarstva (RZR) [13]. Za razvoj modela korišćeni su dostupni podaci od 2016. do 2023. godine za trening i testiranje neuronskih mreža.

U ovom radu su za razvoj modela primenjena dva tipa neuronskih mreža i to *Multilayer Perceptron* (MLP) i *Radial Basis Function* (RBF). Detaljne informacije o parametrima veštačkih neuronskih mreža (VNM) prikazani su u Tabelama 1 i 2. Tokom razvoja modela RBF neuronske mreže, 87,5% podataka je korišćeno za treniranje mreže, dok je 12,5% podataka korišćeno za testiranje mreže, s druge strane, u slučaju MLP neuronske mreže 62,5% podataka je korišćeno za treniranje mreže, dok je 37,5% podataka korišćeno za testiranje mreže. Modeli VNM razvijeni su primenom softverskog paketa IBM SPSS Statistics 19.

U ovom radu su primenjeni modeli zasnovani na veštačkim neuronskim mrežama za predviđanje koncentracije Pb u frakciji PM10 suspendovanih čestica na teritoriji Grada Bora. Grad Bor je odabran za istraživanje, zbog, prema podacima Agencije za zaštitu životne sredine RS, prekoračenja dnevnih koncentracija Pb u frakciji suspendovanih čestica (Prema Direktivi 1 $\mu g/m^3$) na mernom mestu Bor Jugopetrol u proteklom periodu (2022., 2023. god).

Rezultati kreiranih modela su procenjeni na osnovu vrednosti koeficijenta determinacije (R^2). Koeficijent determinacije je statistički indikator performasi modela koji ima vrednosti između 0 i 1, pri čemu vrednosti bliske jedinici pokazuju dobre performase modela (Jednačina 1).

Tabela I *Parametri MLP*

Input Layer	Covariates	SO_2 (µg/m3)
		PM_{10}(µg/m3)
		As (ng/m3)
		Cd (ng/m3)
		Ni (ng/m3)
		RZR
		RV
	Number of Units	7
	Rescaling Method for Covariates	Standardized
Hidden Layer(s)	Number of Hidden Layers	1
	Number of Units in Hidden Layer	4
	Activation Function	Hyperbolic tangent
Output Layer	Dependent Variables	Pb (ng/m3)
	Number of Units	1
	Rescaling Method for Scale Dependents	Standardized
	Activation Function	Identity
	Error Function	Sum of Squares

Tabela II *Parametri RBF*

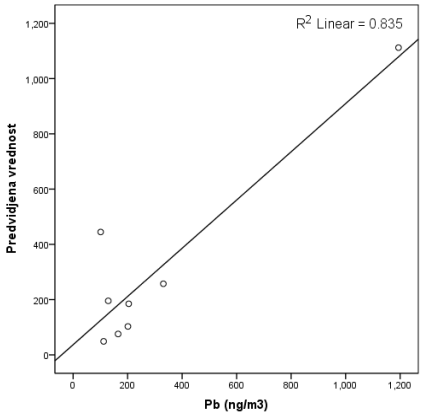
Input Layer	Covariates	SO_2 (µg/m3)
		PM_{10}(µg/m3)
		As (ng/m3)
		Cd (ng/m3)
		Ni (ng/m3)
		RZR
		RV
	Number of Units	7
	Rescaling Method for Covariates	Standardized
Hidden Layer	Number of Units	3
	Activation Function	Softmax
Output Layer	Dependent Variables	Pb (ng/m3)
	Number of Units	1
	Rescaling Method for Scale Dependents	Standardized
	Activation Function	Identity
	Error Function	Sum of Squares

$$R^2 = \frac{[\Sigma(C_p - \bar{C}_p)(C_o - \bar{C}_o)]}{\Sigma(C_o - \bar{C}_o)^2 \Sigma(C_p - \bar{C}_p)^2} \quad (1)$$

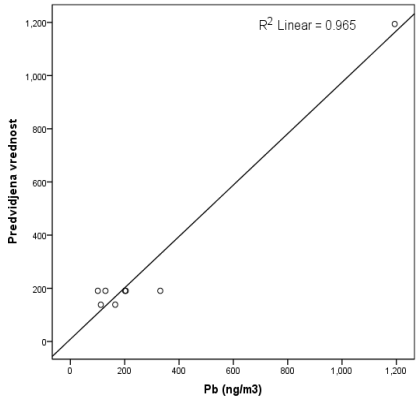
gde Cp predstavlja vrednost predviđenu modelom, dok Co predstavlja izmerenu vrednost posmatrane promenljive.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Nakon treninga i testiranja modela zasnovanih na VNM, dobijeni rezultati su prikazani na Slikama 1. i 2.



Slika 1. *Rezultati MLP modela VNM*

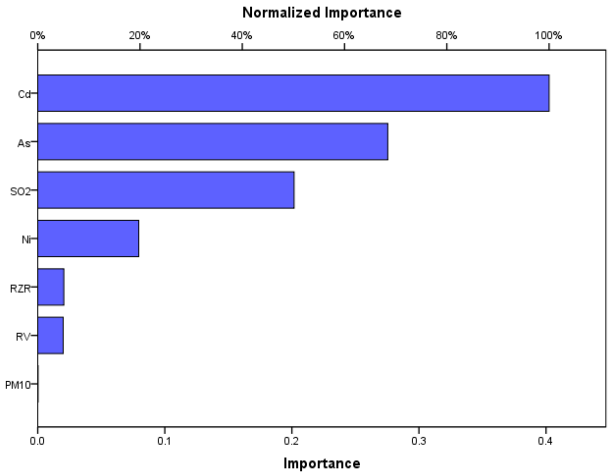


Slika 2. *Rezultati RBF modela VNM*

Dobijeni rezultati su pokazali da model zasnovan na RBF pokazuje veoma dobre rezultate predviđanja koncentracije Pb u frakciji PM10 suspendovanih čestica, sa vrednošću koeficijenta determinacije od 0,965 za RBF i nešto slabije rezultate za MLP 0,835. Iako su modeli pokazali veoma dobre rezultate predviđanja, pretpostavlja se da bi dodatni ulazni parametri poboljšali predikciju i jednog i drugog modela. Takođe, postojanje korelacije među ulaznim parametarima, pokazalo se, u znatnoj meri može smanjiti kapacitet VNM modela u predviđanju Pb u frakciji PM10 suspendovanih čestica.

Tokom razvoja modela, sprovedena je i analiza značajnosti ulaznih paramatara. Rezultati analize značajnosti prikazani su na Slici 3.

Kao što se može videti, najveći uticaj prilikom razvoja modela, pa samim tim i na koncentraciju Pb u frakciji PM10 imaju Cd, As i SO_2, sa normalizovanom vrednošću značajnosti iznad 40%, dok ostali parametri imaju značajnost ispod 20%.



Slika 3. *Značajnost ulaznih parametra*

Na osnovu dobijenih rezultata može se videti da VNM mogu biti uspešno primenjene kao jedan od alternativnih modela za predviđanje Pb u frakciji suspendovanih čestica PM10 i time doprineti boljem upravljanju kvalitetom vazduha u urbanim sredinama.

4. ZAKLJUČAK

Primena VNM za predviđanje koncentracije Pb u frakciji suspendovanih čestica PM10 pokazale su prihvatljivu procenu srednjih godišnjih koncentracija. Imajući to u vidu, a u skladu sa Direktivom EU o kvalitetu vazduha, VNM mogu predstavljati korisne alate za procenu kvaliteta vazduha na teritoriji Grada Bora. Imajući u vidu sve veći problem zagađenja vazduha u urbanim sredinama, postojanje alternativnih modela za procenu zagađenja vazduha, u ovom slučaju, procenu koncentracije Pb na godišnjem nivou, može predstavljati značajan pokazatelj donosiocima odluka, kako na lokalnom, tako i nacionalnom nivou, za preduzimanje adekvatnih mera kako bi se nivo zagađenja vazduha sveo na meru koja ne ugrožava zdravlje ljudi i životnu sredinu.

LITERATURA

[1] E. Matei et al., 'Heavy Metals in Particulate Matter—Trends and Impacts on Environment', Molecules, vol. 30, no. 7, p. 1455, Jan. 2025.

[2] A. Esform, M. S. Hassanvand, A. Naghizadeh, A. Amirabadizadeh, and S. Lashkari, 'On the nature of heavy metals in particulate matter (PM10, PM2.5) and their health impact assessment for a desert city in Iran, Birjand', J. Air Pollut. Health, vol. 7, no. 3, pp. 233–246, Sep. 2022.

[3] Directive (EU) 2024/2881 of the European Parliament and of the Council of 23 October 2024 on ambient air quality and cleaner air for Europe (recast). 2024. Accessed: Nov. 12, 2025. [Online]. Dostupno na: http://data.europa.eu/eli/dir/2024/2881/oj

[4] P. Goyal, A. T. Chan, and N. Jaiswal, 'Statistical models for the prediction of respirable suspended particulate matter in urban cities', Atmos. Environ., vol. 40, no. 11, pp. 2068–2077, Apr. 2006.

[5] S. M. Cabaneros, J. K. Calautit, and B. R. Hughes, 'A review of artificial neural network models for ambient air pollution prediction', Environ. Model. Softw., vol. 119, pp. 285–304, Sep. 2019.

[6] Y. Kim, S.-B. Park, S. Lee, and Y.-K. Park, 'Comparison of PM2.5 prediction performance of the three deep learning models: A case study of Seoul, Daejeon, and Busan', J. Ind. Eng. Chem., vol. 120, pp. 159–169, Apr. 2023.

[7] L. J. Stamenković, D. Z. Antanasijević, M. Đ. Ristić, A. A. Perić-Grujić, and V. V. Pocajt, 'Prediction of nitrogen oxides emissions at the national level based on optimized artificial neural network model', Air Qual. Atmosphere Health, vol. 10, no. 1, pp. 15–23, Jan. 2017.

[8] L. J. Stamenković, D. Z. Antanasijević, M. Đ. Ristić, A. A. Perić-Grujić, and V. V. Pocajt, 'Estimation of NMVOC emissions using artificial neural networks and economical and sustainability indicators as inputs', Environ. Sci. Pollut. Res., vol. 23, no. 11, pp. 10753–10762, Jun. 2016.

[9] D. Antanasijević, V. Pocajt, A. Perić-Grujić, and M. Ristić, 'Multiple-input–multiple-output general regression neural networks model for the simultaneous estimation of traffic-related air pollutant emissions', Atmospheric Pollut. Res., vol. 9, no. 2, pp. 388–397, Mar. 2018.

[10] S.-Y. Park, H.-W. Lee, J. Kwon, S.-W. Yoon, and C.-M. Lee, 'Proposal of a methodology for prediction of heavy metals concentration based on PM2.5 concentration and meteorological variables using machine learning', Asian J. Atmospheric Environ., vol. 18, no. 1, p. 7, Feb. 2024.

[11] V. Yadav, A. K. Yadav, V. Singh, and T. Singh, 'Artificial neural network an innovative approach in air pollutant prediction for environmental applications: A review', Results Eng., vol. 22, p. 102305, Jun. 2024.

[12] 'Агенција за заштиту животне средине – Министарство заштите животне средине Републике Србије'. [Online] Dostupno na: https://sepa.gov.rs/, Pristupljeno: 12.11.2025.

[13] 'ПОЧЕТНА | Републички завод за статистику Србије'. [Online] Dostupno na: https://www.stat.gov.rs/, Pristupljeno: 12.11.2025.

PRAĆENJE EFIKASNOSTI UPRAVLJANJA ZAŠTIĆENIM PODRUČJIMA U CILJU OSTVARIVANJA CILJEVA ODRŽIVOG RAZVOJA

MONITORING PROTECTED AREA MANAGEMENT EFFECTIVENESS FOR ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

Jovana Džoljić i Slaviša Popović

Sadržaj – Savremeni izazovi degradacije ekosistema, gubitka biodiverziteta i pritisaka na prirodne resurse uslovili su potrebu za sistematskim praćenjem i unapređenjem sistema upravljanja zaštićenim područjima. Efikasno upravljanje ovim područjima smatra se ključnim mehanizmom za očuvanje ekološkog integriteta zaštićenog područja koji doprinosi ostvarivanju ciljeva održivog razvoja, što je u radu prikazano kroz pregled savremene naučne i stručne literature. Koncept efikasnosti upravljanja zaštićenim područjima (PAME – *Protected Area Management Effectivness*) razvijen je radi procene kvaliteta procesa upravljanja, korišćenja resursa i ispunjavanja postavljenih ciljeva. On omogućava identifikaciju slabosti u sistemu zaštite, definisanje prioriteta i poboljšanje planiranja i odlučivanja. PAME je direktno povezan sa brojnim Ciljevima održivog razvoja (SDG), posebno sa očuvanjem kopnenih i vodenih ekosistema (SDG 14 i 15), zaštitom vodnih resursa (SDG 6), klimatskim akcijama (SDG 13) i unapređenjem zdravlja i blagostanja ljudi (SDG 3). Takođe, ima značajne socioekonomske implikacije jer doprinosi razvoju ekoturizma, zapošljavanju i lokalnim partnerstvima (SDG 8, 11 i 17). Praćenje i procena efikasnosti upravljanja zasnivaju se na međunarodno priznatim metodologijama, među kojima su najzastupljenije METT (*Management Effectiveness Tracking Tool*) i RAPPAM (*Rapid Assessment and Prioritization of Protected Areas Management*). Ove metode omogućavaju kvalitativnu i kvantitativnu analizu stanja, identifikaciju pritisaka i vrednovanje učinaka mera zaštite. Sistematsko praćenje efikasnosti upravljanja osigurava da zaštićena područja ispunjavaju svoje ekološke, društvene i ekonomske funkcije, čineći ih ključnim instrumentima u ostvarivanju globalnih ciljeva održivog razvoja.

Ključne reči: Zaštićena područja, Efikasnost upravljanja, Održivi razvoj, Ciljevi održivog razvoja, PAME.

Abstract – Contemporary challenges of ecosystem degradation, biodiversity loss, and increasing pressure on natural resources have emphasized the need for systematic monitoring and improvement of protected area management. Effective management of protected areas represents a key mechanism for maintaining ecological integrity and advancing progress toward the Sustainable Development Goals (SDGs), as demonstrated in this paper through a review of relevant scientific literature. The concept of Protected Area Management Effectiveness (PAME) was developed to assess the quality of management processes, resource allocation, and achievement of conservation objectives. It enables the identification of weaknesses within the protection system, prioritization of actions, and improvement of planning and decision-making. PAME is closely linked to several United Nations SDGs, particularly those related to the conservation of terrestrial and aquatic ecosystems (SDGs 14 and 15), water resource protection (SDG 6), climate action (SDG 13), and human health and well-being (SDG 3). Moreover, it carries important socio-economic implications by promoting sustainable livelihoods, ecotourism, and community engagement (SDGs 8, 11, and 17). Monitoring and evaluation of management effectiveness are based on internationally recognized methodologies, among which the Management Effectiveness Tracking Tool (METT) and Rapid Assessment and Prioritization of Protected Area Management (RAPPAM) are the most widely applied. These methods enable both qualitative and quantitative analyses of management performance, identification of pressures, and evaluation of conservation outcomes. Systematic assessment of management effectiveness ensures that protected areas fulfill their ecological, social, and economic roles, making them essential instruments for advancing global sustainability goals.

Keywords: Protected Areas, Management Effectiveness, Sustainable Development, SDG, PAME.

1. UVOD

Dvadeseti vek, obeležen ubrzanim rastom svetske populacije i intenzivnim razvojem potrošačkog društva, doneo je brojne oblike degradacije životne sredine i transformacije prirodnih ekosistema u polupriродne ili veštačke sisteme. Intenzivna destrukcija, degradacija i fragmentacija staništa izazvane ljudskim aktivnostima predstavljaju jedan od ključnih izazova savremenog doba, jer direktno ugrožavaju biološku raznovrsnost i stabilnost ekosistema [1].

Brojna istraživanja ukazuju da se planeta Zemlja danas suočava sa šestim masovnim izumiranjem vrsta u holocenu, čiji je dominantni uzrok antropogena aktivnost, za razliku od prethodnih perioda masovnih izumiranja koje su prouzrokovale prirodne promene [2, 3].

Kao odgovor na ove izazove, očuvanje prirode, održivo korišćenje resursa i zaštita životne sredine postali su prioriteti nacionalnih i međunarodnih politika, uz donošenje brojnih strateških dokumenata i mehanizama zaštite [4]. Među njima, sistem zaštićenih područja predstavlja jedan od najsnažnijih instrumenata očuvanja biodiverziteta i prirodnih procesa. Zaštićena područja predstavljaju jasno definisana geografska

Jovana Džoljić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Vranje, Filipa Fipovića 20, Vranje (imejl: jovana.dzoljic@akademijanis.edu.rs)

Slaviša Popović, Agencija za zaštitu životne sredine, Ruže Jovanovića 20, Beograd (imejl: slavisa.popovic@sepa.gov.rs)

područja koja obuhvataju stabilne i funkcionalne ekosisteme koji omogućavaju očuvanje genetičke, specijske i ekosistemske raznovrsnosti, ali i pružanje ključnih ekosistemskih usluga od kojih društvo zavisi i kojima se upravlja putem pravnih i praktičnih mera, sa ciljem dugoročnog očuvanja prirode, kulturnih vrednosti i ekosistemskih usluga [5].

Zaštićena područja imaju ključnu ulogu u ostvarivanju globalnih ciljeva očuvanja prirode, sprečavanju izumiranja vrsta i obezbeđivanju održivog korišćenja prirodnih resursa [6]. Međutim, samo formalno proglašenje određenog područja zaštićenim ne garantuje očuvanje njegovog ekološkog integriteta. Stvarna efikasnost zavisi od načina upravljanja, dostupnih kapaciteta i kontinuiranog praćenja rezultata [7, 8].

U tom kontekstu, prepoznata je važnost upravljanja zaštićenim područjima kao ključnog faktora za ostvarivanje ciljeva održivog razvoja. Međunarodna unija za zaštitu prirode (IUCN) uspostavila je 1994. godine globalni okvir klasifikacije zaštićenih područja, koji je kasnije unapređen kako bi obezbedio harmonizaciju i poredivost različitih sistema upravljanja. Praćenje efikasnosti upravljanja danas se prepoznaje kao ključni instrument kojim se procenjuje doprinos zaštićenih područja ostvarivanju ciljeva održivog razvoja i unapređenju odnosa između očuvanja prirode i socioekonomskog prosperiteta zajednice.

Ovaj rad ima za cilj da predstavi značaj praćenja efikasnosti upravljanja zaštićenim područjima i da prikaže njegovu ulogu u dostizanju ciljeva održivog razvoja kroz analizu savremene stručne i naučne literature.

2. UPRAVLJANJE ZAŠTIĆENIM PODRUČJIMA

Zaštićena područja danas predstavljaju jedan od najznačajnijih instrumenata globalne politike očuvanja biodiverziteta i ekosistemskih usluga. Njihov doprinos ostvarivanju ciljeva zaštite prirode i održivog razvoja, međutim, ne zavisi isključivo od njihovog broja ili ukupne površine, već prvenstveno od kvaliteta i efikasnosti sistema upravljanja. Ovi sistemi obuhvataju skup normativnih, institucionalnih i praktičnih mera kojima se prati, kontroliše i unapređuje stanje prirodnih resursa i ekosistema u zonama od posebnog značaja za očuvanje biološke raznovrsnosti.

Zaštita prirode istorijski posmatrano, od sredine XX veka je bazirana na različitim pristupima koji su zasnovani na načelu zaštite ugroženih vrsta, sa primarnim ciljem sprečavanja njihovog nestanka i očuvanja prirodnih vrednosti. Međutim, empirijska iskustva pokazala su da isključivo reaktivne mere nisu dovoljne da bi se obezbedila dugoročna održivost. Savremena paradigma upravljanja zaštićenim područjima podrazumeva integraciju proaktivnih i preventivnih aktivnosti. S toga se naglašava prelaz na adaptivno upravljanje koje je zasnovano na naučnim saznanjima i primerima dobre prakse (tradicionalno znanje), kao i uključivanje lokalnih zajednica u procese donošenja odluka. Koncepti poput adaptivnog menadžmenta i ekosistemskog pristupa posebno naglašavaju povezanost očuvanja prirode i ciljeva održivog razvoja, ističući ulogu ekosistemskih usluga kao temelja očuvanja životne sredine i unapređenja ljudskog blagostanja [6; 3].

Ekonomske benefite upravljanja nije moguće zanemariti naročito u zemljama u razvoju, koje istovremeno karakteriše i visoka stopa biološke raznovrsnosti i izraženi socioekonomski izazovi. U takvim okolnostima, zaštićena područja predstavljaju važan resurs za unapređenje ekonomskog razvoja lokalnih zajednica, kroz stvaranje novih mogućnosti zapošljavanja, diverzifikaciju prihoda i unapređenje životnog standarda, najčešće putem održivog turizma i valorizacije prirodnih dobara [9]. Brojna istraživanja potvrđuju da zaštićena područja doprinose prevazilaženju siromaštva i ubrzavanju razvoja, jer obezbeđuju ključne ekosistemske usluge, uključujući snabdevanje vodom i hranom, očuvanje ribljeg fonda, zaštitu divljih sorti useva, regulaciju klime i skladištenje ugljen-dioksida [9-14]. Ipak, pojedini autori upozoravaju da u retkim slučajevima proglašenje zaštićenih područja može privremeno izazvati socioekonomske probleme, posebno kada obuhvati resurse od kojih lokalno stanovništvo tradicionalno zavisi, što ukazuje na potrebu za uravnoteženim pristupom [9].

Savremeni koncept zaštićenih područja prevazilazi tradicionalnu ulogu očuvanja biološke raznovrsnosti, obuhvatajući i njihovu funkciju u podršci ljudskim zajednicama, razvoju održivog turizma, jačanju lokalnih ekonomija i ublažavanju posledica klimatskih promena [14]. Efikasno upravljanje ovim područjima predstavlja osnovni preduslov za ostvarivanje njihovog ekološkog i društvenog potencijala [15]. Ono podrazumeva dinamičan proces integracije ekoloških, ekonomskih i socijalnih aspekata, čija međuzavisnost direktno utiče na postizanje ciljeva održivog razvoja. Time se potvrđuje da su zaštićena područja ključni instrumenti ne samo za očuvanje prirode, već i za unapređenje kvaliteta života i globalne održivosti.

2.1. Procena efikasnosti upravljanja zaštićenim područjima

Efikasno upravljanje zaštićenim područjima je fundamentalno da bi se obezbedila realizacija sveukupnog potencijala područja [15; 16]. Procena efikasnosti upravljanja se sastoji od dve važne komponente: da li zaštićena područja funkcionišu u smislu upravljanja, vođenja (strateškog upravljanja) i finansijskog efekta, kao i da li su očuvane vrednosti zbog kojih su zaštićena. Kao glavna pitanja prepoznata na brojnim debatama o zaštićenim područjima, izdvojena su upravo ona koja se odnose se na plan upravljanja, pravni status područja, granice, zaštitne zone, koridore i mrežu, ljudske resurse ali i na procenu uticaja na životnu sredinu (EIA). S tim u vezi, dugoročni monitoring efekata upravljanja zaštićenim područjima je neophodan kako bi se ustanovili rezultati aktivnosti i njihova ekonomska isplativost.

Koncept efikasnosti upravljanja zaštićenim područjima (*Protected Area Management Effectivness*, PAME) razvijen je radi praćenja i procene načina upravljanja zaštićenim područjima i obezbeđivanja resursa u odnosu na postavljene ciljeve. Praćenje stanja i efikasnosti upravljanja zaštićenim područjima nametnute su zemljama potpisnicama Konvencije o biološkoj raznovrsnosti kao obavezna aktivnost koja je

zasnovana na savremenim naučnim metodama i na saradnji sa lokalnim zajednicama [6]. Danas, procena efikasnosti upravljanja zaštićenim područjima predstavlja ključan element Globalnog sporazuma za biodiverzitet (*Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework*, GBF) i vitalan je preduslov za ostvarivanje ciljeva održivog razvoja. Svetska banka, Svetski fond za prirodu (WWF) i GEF (*Global Environmental Facility*) za procenu efikasnosti upravljanja zahtevaju korišćenje odgovarajuće metodologije.

Za procenu efikasnosti upravljanja zaštićenim područjima postoji veliki broj metoda. Najšire primenjivane su METT metodologija (*Management Effectiveness Tracking Tool* [17; 18]) i RAPPAM metodologija (*Rapid Assessment and Prioritization of Protected Areas Management* [19]). Obe metodologije, METT i RAPPAM, koriste se širom sveta radi procene kvaliteta stanja zaštićenih područja i pružaju osnovu za praćenje, poređenje i utvrđivanje antropogenog pritiska na njih, ali i definisanja pogodnosti ovih područja za razvoj ekoturizma, sport i rekreaciju. Na ovaj način se obezbeđuje ne samo dugoročno očuvanje biodiverziteta, već i održivo korišćenje prirodnih resursa, unapređenje kvaliteta života i smanjenje rizika od ekoloških pretnji.

Posebno važan aspekt savremenih sistema upravljanja je uvođenje digitalizacije i novih tehnologija. Primena daljinske detekcije, GIS tehnologija i sistema za praćenje u realnom vremenu značajno doprinosi transparentnosti, dostupnosti podataka i efikasnosti u donošenju odluka [20]. Na taj način, sistemi upravljanja zaštićenim područjima postaju ključan instrument za postizanje ravnoteže između očuvanja prirode i socioekonomskog razvoja, čime direktno doprinose ostvarivanju globalnih ciljeva održivog razvoja.

3. ODRŽIVI RAZVOJ I EFIKASNOST UPRAVLJANJA ZAŠTIĆENIM PODRUČJIMA

Zaštićena područja su među najvažnijim alatima za očuvanje biodiverziteta i ekosistemskih usluga, ali njihov doprinos globalnoj održivosti ne zavisi samo od njihovog zakonskog proglašenja, već i od toga koliko se efikasno njima upravlja. Koncept efikasnosti upravljanja zaštićenim područjima (PAME) se stoga pojavio kao ključni alat koji ovo omogućava obezbeđujući resurse i praćenje u odnosu na njihove navedene ciljeve. Važno je napomenuti da je PAME ne samo od ključne važnosti za očuvanje biodiverziteta, već pruža i dokaze o tome da li zaštićena područja postižu svoje ekološke i društvene ciljeve, što ih direktno povezuje sa ostvarivanjem Ciljeva održivog razvoja Ujedinjenih nacija (SDG). Od ukupno 17 definisanih SDG, deset se može dovesti u direktnu ili indirektnu vezu sa upravljanjem zaštićenim područjima.

Pre svega, ostvarivanje SDG 14 i 15 (Život ispod vode i Život na kopnu) direktno zavisi od efikasnog upravljanja marinskim i terestričnim ekosistemima. Dobro upravljanje smanjuje pritisak na biodivrzitet, omogućava očuvanje staništa i obezbeđuje ekološku povezanost i funkcije ekosistema, čime se jačaju globalni rezultati očuvanja. Međutim, same površine pod zaštitom nisu dovoljne: kvalitet upravljanja (resursi, nadzor, participativne strategije, praćenje ishoda) određuje stvarnu sposobnost zaštićenih područja da smanje pretnje i unaprede stanje biodiverziteta [21]. Pored očuvanja biodiverziteta, efikasno upravljanje zaštićnim područjima posredno doprinosi i drugim SDG-ovima, te i pored ekoloških benefita ima i snažne socioekonomske implikacije [22]:

- SDG 6 (Čista voda i sanitacija) doprinosi održavanju integriteta sliva, autopurifikacije i obezbeđivanje bezbednog i pouzdanog snabdevanja vodom, smanjujući rizik od pojave poplava ili suša;
- SDG 13 (Klimatske akcije) je podržan kroz ulogu u skladištenju ugljenika, klimatskoj regulaciji i jačanju otpornosti ekosistema na klimatske promene. Npr. ekosistemi šuma, močvara i tresetišta funkcionišu kao glavni depoi ugljenika, ali samo kada su zaštićeni od degradacije i neodržive upotrebe;
- SDG 1 i SDG 2 (Smanjenje siromaštva i Svet bez gladi) su podržani kroz održive izvore prihoda i zaštitu resursa od kojih zavisi lokalna poljoprivreda i ribarstvo;
- SDG 3 (Dobro zdravlje i blagostanje) se oslanja na smanjenje degradacije ekosistema koja može povećati izloženost zoonotskim bolestima, istovremeno podržavajući lekovite resurse i promovišući rekreativne i kulturne koristi vitalne za ljudsko zdravlje.
- SDG 8 (Dostojanstven rad i ekonomski rast) i SDG 11 (Održivi gradovi i zajednice) je podržan kroz održivi turizam, zapošljavanje i angažovanje zajednice, obezbeđujujući prostor za rekreaciju, fizičko zdravlje i mitigaciju rizika od katastrofa i istovremeno podstičući stvaranje otporne lokalne ekonomije uz očuvanje kulturnog i prirodnog nasleđa.
- SDG 10 (Smanjenju nejednakosti) se oslanja na uključivanje svih autohtonih i lokalnih zajednica u upravljanju zaštićenim područjem i ima višestruku dobit za ostvarivanje i ekoloških i socijalnih ishoda;
- SDG 16 (Mir, pravda i snažne institucije) doprinosi se kroz participaciju interesnih grupa i pravičnu podelu koristi doprinosi i boljem radu institucija;
- SDG 17 (Partnerstva za ciljeve) zahteva saradnju između vlada, nevladinih organizacija, naučnih institucija i lokalnih zajednica, kako u evaluaciji, tako i u adaptivnom upravljanju.

Na osnovu navedenog, zaštićena područja se mogu posmatrati kao ključna spona između očuvanja prirodnih vrednosti i održivog lokalnog razvoja, pod uslovom da su upravljačke mere usmerene ka istovremenom postizanju ekoloških i društvenih ciljeva. Većina autora ističe da postoje različiti pristupi i modeli koji omogućavaju efikasno upravljanje ovim područjima, ali se zajednički naglašava potreba za stalnim unapređenjem mehanizama upravljanja i evaluacije njihove efikasnosti.

4. ZAKLJUČAK

Efikasnost upravljanja zaštićenim područjima predstavlja ključnu osnovu za ostvarivanje globalnih ciljeva održivog razvoja i obaveza preuzetih u okviru međunarodnih sporazuma o biodiverzitetu i klimatskim promenama. Samo zaštićena

područja sa jasno definisanim upravljačkim ciljevima, adekvatnim finansiranjem, kapacitetima i sistemima monitoringa mogu ispuniti svoju funkciju u očuvanju biodiverziteta, obezbeđivanju ekosistemskih usluga i unapređenju društvenog blagostanja [21; 23]. U odsustvu efektivnog upravljanja, mnoga zaštićena područja ostaju „parkovi na papiru“, što dovodi do neuspeha u ostvarivanju kako ekoloških, tako i socioekonomskih ciljeva [24].

Nasuprot tome, sistematsko praćenje i unapređenje efikasnosti upravljanja omogućava zaštićenim područjima da postanu ključni instrumenti za ostvarivanje i ekoloških (SDG 14, i 15) ali i socioekonomskih ciljeva [22]. Istovremeno, prema Evropskom institutu za politiku životne sredine, ovi napori imaju i indirektne koristi za druge ciljeve održivog razvoja (SDG 1, 2, 3, 6, 8, 11, 13 i 17). Ovi međuodnosi potvrđuju da efikasno upravljanje zaštićenim područjima prevazilazi tradicionalni okvir očuvanja prirode, postajući integralni deo globalne agende održivog razvoja.

Efikasno upravljanje zahteva integrisani pristup koji uključuje adaptivno planiranje, participaciju lokalnih i autohtonih zajednica, te i transparentne sisteme evaluacije učinaka [25]. Takav pristup ne samo da jača ekološke ishode već doprinosi i pravednoj raspodeli koristi, čime se jača društvena otpornost i institucionalni kapaciteti (SDG 10 i SDG 16). Time zaštićena područja postaju most između očuvanja prirode i održivog razvoja, a praćenje efikasnosti upravljanja neophodan mehanizam za ostvarivanje realnih rezultata očuvanja prirode u skladu sa globalnim ciljevima i obavezama.

LITERATURA

[1] A.D. Barnosky, N, Matzke, S. Tomiya, G. O. Wogan, B. Swartz, T.B. Quental, ... & E. A.Ferrer, „Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?“ Nature, vol. 471 no.7336, pp.51–57, March 2011.

[2] G. Ceballos, P. R.Ehrlich, A. D. Barnosky, A. García, R. M. Pringle, T. M. Palmer, „Accelerated modern human–induced species losses: Entering the sixth mass extinction“, Science Advances, vol 1, no. 5, p. e1400253. Jun 2015.

[3] IPBES, Global assessment report on biodiversity and ecosystem services, Bonn, Germany: IPBES 2019.

[4] J. E. M. Watson, N. Dudley, D. B. Segan & M. Hockings „The performance and potential of protected areas“, Nature, vol. 515, no. 7525, pp. 67–73, November 2014.

[5] N. Dudley (Ed.), Guidelines for applying protected area management categories, Gland, Switzerland: IUCN 2008.

[6] CBD. Strategic plan for biodiversity 2011–2020 and the Aichi targets. Convention on Biological Diversity. 2010. Dostupno na: https://www.cbd.int/sp/. Pristupljeno 11.11.2025.

[7] M. Lockwood, G. L. Worboys & A. Kothari, (Eds.), Managing protected areas: A global guide, London: Routledge 2012.

[8] M. Hockings, S. Stolton, F. Leverington, N. Dudley & J. Courrau, Evaluating Effectiveness: A Framework for Assessing Management Effectiveness of Protected Areas (2nd ed.), Gland, Switzerland: IUCN 2006.

[9] Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. Ecosystems. Washington, DC: World Resources Institute 2005.

[10] J. Lubchenco, S. R. Palumbi, S. D. Gaines & S. Andelman, „Plugging a hole in the ocean: the emerging science of marine reserves“, Ecological applications, vol. 13 no. 1, pp. S3-S7, 2003

[11] S. L. Postel & B. H. Thompson Jr, Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. In Natural resources forum (Vol. 29, No. 2, pp. 98-108). Oxford, UK: Blackwell Publishing, Ltd. 2005, May

[12] J. P. Scharlemann, V. Kapos, A. Campbell, I. Lysenko, N. D. Burgess, M. C. Hansen, ... & L. Miles, „Securing tropical forest carbon: the contribution of protected areas to REDD“. Oryx, vol. 44 no. 03, pp. 352-357, 2010.

[13] B. Soares-Filho, P. Moutinho, D. Nepstad, A. Anderson, H. Rodrigues, R. Garcia, ... & R. Silvestrini, „Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation“, Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 107 no. 24, pp. 10821-10826, 2010.

[14] J. E. M. Watson, N. Dudley, D. B. Segan, & M. Hockings, „The performance and potential of protected areas. Nature, vol. 515 no. 7525 pp. 67–73, 2014.

[15] P. J. Ferraro & M. M. Hanauer, „Through what mechanisms do protected areas affect environmental and social outcomes?“. Phil. Trans. R. Soc. B, vol. 370 no. 1681 p. 20140267, 2015.

[16] UNEP-WCMC & IUCN, Protected Planet Report 2016, Cambridge UK and Gland, Switzerland: IUCN 2016.

[17] F. Leverington, The global protected area management effectiveness database, Internal database of October 2009. Gat-ton, Australia: University of Queensland, 2009.

[18] S. Stoll-Kleemann, „Evaluation of management effectiveness in protected areas: Methodologies and results“. Basic and Applied Ecology, vol. 11 no. 5 pp. 377–382, 2010.

[19] J. Ervin, WWF: Rapid Assessment and Prioritization of Protected Area Management (RAPPAM) Methodology, WWF 2003.

[20] T. F. Keenan, M. Migliavacca, D. Papale, D. Baldocchi, M. Reichstein, M. Torn, & T. Wutzler, „Widespread inhibition of daytime ecosystem respiration“. Nature ecology & evolution, vol. 3 no. 3, pp. 407-415 2019.

[21] S. Chape, J. Harrison, M. Spalding & I. Lysenko, „Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets“, Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, vol. 360 no. 1454, pp. 443-455, 2005.

[22] N. Dudley, N. Ali, M. Kettunen & K. MacKinnon. Editorial essay: Protected areas and the sustainable development goals. Parks, vol. 23 no. 2 pp. 10-12, 2017.

[23] K. Pulido-Chadid, K., et al. „How effective are protected areas for reducing threats to biodiversity?“ Environmental Evidence, vol. 12 no.1, p. 5 2023.

[24] F. Leverington, K. L. Costa, H. Pavese, A. Lisle, & M. Hockings, „A global analysis of protected area management effectiveness“. Environmental Management, vol. 46 no. 5 pp.685–698. 2010.

[25] M. J. Hilton, et al.“Defining performance thresholds for effective management of biodiversity within protected areas“, Conservation Biology, vol. 36 no. 1, p. e13963 2022.

MONITORING AZOTNIH OKSIDA U GRADU VRANJU
MONITORING OF NITROGEN OXIDES IN THE CITY OF VRANJE

Gordana Bogdanović

Sadržaj - U radu je analizirana koncentracija azotnih oksida na teritoriji Grada Vranja i predlog mera za poboljšanje kvaliteta vazduha. Azotni oksidi, koji prvenstveno nastaju sagorevanjem fosilnih goriva pri visokim temperaturama, spadaju među najznačajnije zagađujuće materije u urbanim sredinama. Njihovo prisustvo u atmosferi ima ozbiljne posledice po zdravlje ljudi, naročito respiratorni sistem, ali i po životnu sredinu, jer doprinose formiranju prizemnog ozona, kiselih kiša i sekundarnih čestica. Cilj rada je da se kvantifikuje prisustvo azotnih oksida u vazduhu u Gradu Vranju tokom petogodišnjeg perioda za period od 2020. do 2024. godine, identifikuju glavni izvori emisije i na osnovu rezultata formulišu predlozi mera koje bi mogle doprineti smanjenju zagađenja. Analizirani su podaci Zavoda za javno zdravlje Vranje o dnevnim i mesečnim koncentracijama azotnih oksida za period od 2020. do 2024. godine. Pri izboru mernih mesta vodilo se računa o rasporedu i vrsti izvora zagađivanja, gustine naseljenosti, orografije terena i meteoroloških uslova. Kontrola kvaliteta vazduha na teritoriji Grada Vranja vrši se na pet mernih mesta. Za određivanje koncentracije NO_2 koristi se spektrofotometrijski metod na H (1-naftil)-etilendiaminom. Rezultati su izraženi u $\mu g/m^3/24h$. Podaci predstavljaju mesečne statistike NO_2 ($\mu g/m^3$) za 2020–2024.godinu. Za svaki mesec su dati srednji mesečni nivoi, minimalna i maksimalna dnevna vrednost. Rezultati merenja pokazali su da koncentracije NO_2 imaju izraženu sezonsku dinamiku. Maksimalne i prosečne vrednosti zabeležene su u zimskim mesecima (januar, februar, novembar, decembar), dok su minimalne koncentracije registrovane tokom leta (jun, jul, avgust).

Ključne reči: azotni oksidi, koncentracije azotnih oksida, emisija, predlozi mera.

Abstract – The paper analyzes the concentration of nitrogen oxides in the territory of the City of Vranje and proposes measures to improve air quality. Nitrogen oxides, which are primarily produced by burning fossil fuels at high temperatures, are among the most significant pollutants in urban areas. Their presence in the atmosphere has serious consequences for human health, especially the respiratory system, but also for the environment, because they contribute to the formation of ground-level ozone, acid rain and secondary particles. Their presence in the atmosphere has serious consequences for human health, especially the The goal of the work is to quantify the presence of nitrogen oxides in the air in the City of Vranje during a five-year period from 2020 to 2024, identify the main sources of emissions and, based on the results, formulate proposals for measures that coul contribute to reducing pollution. Data from the Public Health Institute in Vranje on daily and monthly concentrations of nitrogen oxides for the period from 2020 to 2024 were analized. When choosing the measurement sites, the layout and type of pollution sources, population density, orography of the terrain and meteorological conditions were taken into account. Air quality control in the territory of the City of Vranje is carried out at five measuring points. The spectrophotometric method on H (1-naphthyl)-ethylenediamine is used to determine the concentration of NO_2. The results are expressed in $\mu g/m^3/24h$. The data represent monthly NO_2 statistics ($\mu g/m^3$) for 2020–2024. Average monthly levels, minimum and maximum daily values are given for each month. The measurement results showed that NO_2 concentrations have pronounced seasonal dyinamics.The maximum and average values were recorded in the winter months (January, February, November, December), while the minimum concentrations were registered during the summer (June, July, August).

Keywords: nitrogen oxides, concentrations of nitrogen oxides, emissions, proposed measures.

1. UVOD

Zagađenje vazduha se definiše kao prisustvo jedne ili više štetnih materija u atmosferi u koncentracijama koje mogu nepovoljno delovati na ljude, biljni i životinjski svet ili prouzrokovati oštećenja materijalnih dobara. Zagađivači vazduha su: azotni oksidi, sumpor-dioksid, ugljen-dioksid, čestice čvrstih materija, isparljive organske supstance i toksične supstance. Jedan od glavnih uzroka zagađenja vazduha je ubrzan industrijski razvoj, i sagorevanja fosilnih goriva koji u atmosferu emituju velike količine gasova, čađi, prašine i toksičnih materija [1]. Azotni oksidi (NOx) predstavljaju grupu gasovitih jedinjenja koja se sastoje od atoma azota i kiseonika. Azot-monoksid (NO) i azot-dioksid (NO_2) su najznačajniji zagađivači vazduha. NO je gas bez boje i mirisa, dok je NO_2 smeđkasto-crven gas karakterističnog oštrog mirisa. NO se u atmosferi relativno brzo oksiduje do NO_2. Azotni oksidi su veoma reaktivni i učestvuju u stvaranju sekundarnih zagađujućih materija. Oksidi azota i čestice mogu međusobno da reaguju stvarajući kisela jedinjenja. Prilikom njihovog transporta na velike daljine dolazi do smanjenja lokalnog i do povećanja regionalnog zagađenja [2]. Ljudskim delovanjem u vazduh dospevaju različite materije od kojih su najštetniji azotni i sumporni oksidi, organska jedinjenja, ugljen dioksid, različite vrste čestica, kao i radioaktivne materije [3]. Smatra se da su emisije NO_2 iz saobraćaja (kao proizvod sagorevanja fosilnih goriva u motorima sa unutrašnjim sagorevanjem) dominantan izvor NO_2 u ambijentalnom vazduhu u urbanim sredinama. Oko 40% emisije NO i NO_2 potiče od drumskog saobraćaja pri čemu Evropa i Severna Amerika učestvuju sa čak 25% [4].

Gordana Bogdanović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija– Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17500 Vranje (imejl:gordana.bogdanovic@akademijanis.edu.rs).

2. MATERIJAL I METODE RADA

Zavod za javno zdravlje Vranje u cilju kontrole kvaliteta vazduha vrši merenja nivoa zagađujućih materija odnosno koncentracije zagađujućih materija u vazduhu ili njihovo taloženje na površini zemlje. Vrši se sistematsko dnevno merenje koncentracija osnovnih zagađujućih materija u vazduhu SO_2, čađi, NO_2 i analiza aerosedimenta u mesečnim uzorcima padavina.

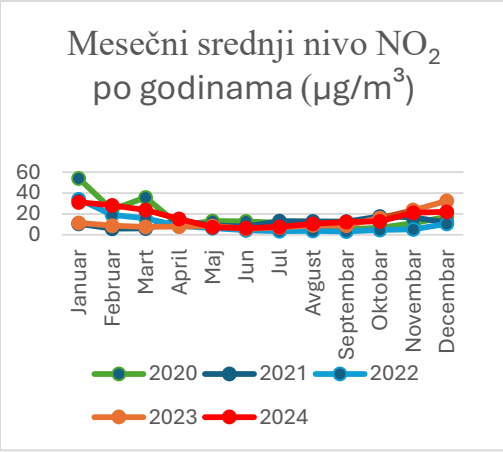
Pri izboru mernih mesta merenja koncentracija NO_2 vodilo se računa o rasporedu i vrsti izvora zagađivanja, gustine naseljenosti, orografije terena i meteoroloških uslova. Kontrola kvaliteta vazduha na teritoriji Grada Vranja vrši se na pet mernih mesta i to: „Zavodu za javno zdravlje" Vranje, Osnovnoj školi „Svetozar Marković" u Vranju, Predškolskoj ustanovi „Naše dete" – Vrtić „Neven", Osnovnoj školi „Jovan Jovanović Zmaj" u Vranju i Osnovnoj školi „Predrag Devedžić" u Vranjskoj Banji. Za određivanje koncentracije NO_2 koristi se spektrofotometrijski metod na H (1-naftil)-etilendiaminom. Rezultati su izraženi u $\mu g/m^3/24h$.

Podaci predstavljaju mesečne statistike NO_2 ($\mu g/m^3$) za period od 2020. do 2024.godine. Za svaki mesec su dati srednji mesečni nivoi, minimalna i maksimalna dnevna vrednost.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

U Republici Srbiji, prema Zakonu o zaštiti vazduha, maksimalne granične vrednosti su definisane za različite vremenske periode. Za merenje u periodu od jedne godine, maksimalna dozvoljena koncentracija je 40 $\mu g/m^3$, dok je za merenje u periodu od jednog sata maksimalna dozvoljena koncentracija 200 $\mu g/m^3$.

U tabeli 1. i grafikonu 1. prikazani su mesečni srednji nivoi koncentracije NO_2 za period od 2020. do 2024. godine. Najviše srednje vrednosti izmerene su u zimskim mesecima (januar, februar, novembar i decembar), dok su letnji meseci (maj–avgust) znatno povoljniji, sa srednjim koncentracijama ispod 15 $\mu g/m^3$. Na osnovu izmerenih koncentracija NO_2 može se zaključiti da su u zimskom periodu povećane emisije iz individualnih ložišta i saobraćaja, i da istovremeno deluju nepovoljni meteorološki uslovi (česte temperaturne inverzije, nizak nivo disperzije zagađujućih materija).



Slika 1. *Mesečni srednji nivo NO_2 po godinama ($\mu g/m^3$)*

U letnjem periodu, smanjena upotreba grejnih sistema i veća insolacija omogućavaju bržu razgradnju azotnih oksida, pa su i koncentracije NO_2 niže.

Tabela I *Mesečni srednji nivo NO_2 po godinama ($\mu g/m^3$)*

Mesec	2020.g.	2021.g.	2022.g.	2023.g.	2024.g.
Januar	53,9	10,5	34,1	11,3	31,2
Februar	24,1	5,9	19,1	8,8	28,1
Mart	35,7	6,2	15,9	7,6	23,8
April	9,0	13,4	8,3	7,8	15,3
Maj	13,2	8,9	6,5	8,5	7,3
Jun	12,9	7,9	4,4	5,7	6,3
Jul	11,3	13,0	3,5	6,9	7,7
Avgust	8,3	12,9	3,7	8,9	10,5
Septembar	5,2	12,7	3,2	8,8	12,3
Октобар	6,6	17,6	4,7	16,0	12,8
Novembar	11,0	16,7	5,2	23,5	21,1
Decembar	17,2	11,8	10,5	32,5	22,0

Srednje vrednosti potvrđuju da u letnjem periodu kvalitet vazduha uglavnom ne predstavlja značajan problem u pogledu NO_2, dok u zimskim mesecima dolazi do ozbiljnijeg opterećenja, sa potencijalnim rizikom po zdravlje stanovništva. Iako godišnji proseci ne prelaze zakonsku granicu, evidentna je visoka sezonska izloženost, što znači da stanovnici grada nisu ravnomerno izloženi tokom cele godine, već najviše u periodu grejne sezone. Dejstvo azot-monoksida na čoveka slično je dejstvu ugljen-monoksida, naime dolazi do istiskivanja kiseonika iz krvi čime je ugroženo snabdevanje tkiva. Velika koncentracija azot-monoksida (NO) u krvi izaziva smrt. Činjenica je međutim da su koncentracije azot-monoksida koje se pojavljuju u atmosferi jedva škodljive ali je njihov značaj kao aerozagađivača bitan prvenstveno zbog stvaranja azot-dioksida (NO_2) koji je toksičniji i naročito štetan za disajne organe [5,6]. Prema preporukama SZO prosečna godišnja koncentracija oksida azota ne bi trebalo da prelazi 30 $\mu g/dm^3$. Zbog sve većeg prisustva azotnih oksida i drugih zagađujućih materija u vazduhu, povećava se broj srčanih i respiratornih oboljenja kod stanovnika svih uzrasta [7]. Zagađen vazduh utiče na živi svet na mnogobrojne načine: utiče na zdravlje ljudi, kao i na druge žive organizme, na klimatske promene, promene u vodama, zemljištu. Međunarodni program saradnje o uticaju zagađenja vazduha na životnu sredinu i zdravlje ljudi uveo je koncept graničnih vrednosti kojima se određuju koncentracije za koje se smatra da ne izazivaju posledice. SZO je procenila da godišnje dva miliona ljudi umre od posledica zagađenja vazduha [8].

Predlog mera za smanjenje koncentracija NO_2:

1. Kratkoročne mere: pojačan monitoring i javno izveštavanje o kvalitetu vazduha, privremena ograničenja saobraćaja u zonama visokog zagađenja, subvencije za nabavku ekološki prihvatljivih goriva i

peći, edukacija građana o uticaju individualnih ložišta i saobraćaja.
2. Srednjoročne mere: modernizacija gradskog grejanja i prelazak na čistije energente, uvođenje zelenih zona i dvoreda radi smanjenja emisija, postepeno uvođenje električnih i hibridnih vozila u javni prevoz, pojačane kontrole industrijskih postrojenja.
3. Dugoročne mere: potpuni prelazak na obnovljive izvore energije, izgradnja infrastrukture za električna vozila, urbanističko planiranje koje smanjuje zagađenje (saobraćajnice, zelene površine), smanjenje industrijskih emisija.

Iako trenutne koncentracije azotnih oksida u Gradu Vranju ne prelaze zakonski dozvoljene koncentracije, činjenica da su iznad zdravstveno bezbednih granica nameće potrebu za sistemskim i dugoročnim merama zaštite vazduha i javnog zdravlja. Na osnovu svega navedenog može se zaključiti da je kvalitet vazduha u Gradu Vranju u periodu od 2020. do 2024. godine bio uglavnom u granicama propisanih vrednosti ali da postoje značajne epizode povećane koncentracije NO_2, posebno u zimskim mesecima. Ove epizode predstavljaju realan rizik za zdravlje građana i ukazuju na potrebu daljih istraživanja, kao i primenu mera za smanjenje emisija iz saobraćaja i individualnih ložišta.

4. ZAKLJUČAK

Grad Vranje, zbog svog položaja u kotlini i specifičnih klimatskih uslova, naročito je izložen zadržavanju zagađujućih materija u zimskom periodu, kada dolazi do izraženih temperaturnih inverzija. Dominantni izvori emisije NO_2 jesu saobraćaj, industrijska postrojenja i individualna ložišta. Rezultati merenja pokazali su da koncentracije NO_2 imaju izraženu sezonsku dinamiku. Maksimalne i prosečne vrednosti zabeležene su u zimskim mesecima (januar, februar, novembar, decembar), dok su minimalne koncentracije registrovane tokom leta (jun, jul, avgust). Iako prosečne godišnje koncentracije uglavnom ne prelaze zakonske granične vrednosti, povremene epizode visokih koncentracija mogu predstavljati rizik po zdravlje stanovništva.

Na osnovu sprovedene analize, jasno je da su neophodne kombinovane mere kako bi se poboljšao kvalitet vazduha. Kratkoročne mere treba da budu usmerene na smanjenje saobraćaja tokom epizoda zagađenja i pravovremeno obaveštavanje javnosti. Srednjoročno, potrebno je ulagati u zamenu neefikasnih sistema grejanja i podsticati korišćenje čistijih goriva. Dugoročne mere podrazumevaju razvoj održive mobilnosti, unapređenje industrijskih tehnologija, proširenje zelenih površina, edukaciju, jačanje institucionalnih kapaciteta i transparentno izveštavanje.

LITERATURA

[1] T. Du, Y. Sun, "Correlation of Building Heating And Air Qualities in Typical Cities of China", *Energy Procedia*, 158, pp. 6532-6537, 2019.

[2] J. Đurković,, "Hemija atmosfere", Rudarskogeološki fakultet, Beograd, 2001.

[3] Lj. Trumbulović-Bujić, Z. Aćimović-Pavlović, "Uticaj aerozagađivača na kvalitet vazduha u industrijskoj sredini", Journal of Metallurgy, Vol, 14, Issue 3, pp. 229-240, 2008.

[4] D. Knežević, D. Nišić, A. Cvjetić, D. Ranđelović, "Monitoring u životnoj sredini - Odabrana poglavlja", Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Urednik: Aleksandar Ganić, 2015.

[5] D. Pešević, N. Knežević, "Uticaj gradilišta dijela autoputa Banja Luka - Doboj na kvalitet životne sredine", 1st Internacional Conference "The Holistic Approach to Environment", Association for Promotion of Holistic Approach to Environment, Sisak, pp. 590-601, septembar 2018.

[6] R. Radić, N. Knežević, V. Lazić, B. Arsenović, "Uticaj lebdećih čestica na kvalitet vazduha u gradu Banjaluci", XX Simpozijum o koroziji i zaštiti materijala, Crnogorsko društvo za zaštitu materijala i životne sredine, Podgorica, pp. 129-134, decembar 2006.

A. Onjia, "Analiza kvaliteta vazduha", Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 2022.

[7] World Health Organization, "Air Quality Guidelines", Global update 2005. Copenhagen, WHO Regional office for Europe, 2006.

UTICAJ pH I REDOKS POTENCIJALA (Eh) NA MOBILNOST METALA U SISTEMU SEDIMENT/VODA

INFLUENCE OF pH AND REDOX POTENTIAL (Eh) ON THE MOBILITY OF METALS IN THE SEDIMENT/WATER SYSTEM

Ljiljana Đorđević

Sadržaj – Uticaj pH i Eh na mobilnost metala u sistemu sediment/voda pokazan je na primeru Korbevačke reke. Analizirana je voda i sediment Korbevačke reke. Uzorci vode i sedimenta uzeti su sa tri lokacije duž toka reke. Uzorci vode i sedimenta uzorkovani su i analizirani standardnim metodama. U uzorcima vode određeni su sledeći fizičko-hemijski parametri: temperatura, pH, električna provodljivost i rastvoreni kiseonik, kao i sadržaj metala: olovo (Pb), cink (Zn), živa (Hg), kadmijum (Cd), bakar (Cu) i arsen (As). Sadržaj istih metala određen je u uzorcima sedimenta, kao i u vodi. Prema standardnim vrednostima za fizičke i hemijske parametre koje su propisane Council Directive 75/440/EEC, a koje se zahtevaju za površinske vode namenjene za dobijanje vode za piće u državama članicama, voda u gornjem delu sliva Korbevačke reke spada u kategoriju A3 zbog povećanih vrednosti koncentracija Cu i Pb. Analiza rečnih sedimenata je takođe pokazala da su koncentracije Cu, Pb, Cd i Zn iznad vrednosti datih Interim fresh water sediment quality guidelines ISQG – Canadian sediment quality guidelines. Visoka mobilnost i laka zamenljivost Pb, Cu, Zn i Cd u ispitivanom rečnom sedimentu je veoma važna za kvalitet rečne vode, jer ovi elementi, kada se uslovi u rečnom sistemu (pH, Eh ili temperatura) promene, mogu dospeti u vodu.

Ključne reči: Redoks potencijal, pH, metali, sistem sediment/voda.

Abstract – The influence of pH and Eh on the mobility of metals in the sediment/water system was demonstrated on the example of the Korbevacka River. The water and sediment of the Korbevačka River were analyzed. Water and sediment samples were taken from three locations along the river course. Water and sediment samples were sampled and analyzed using standard methods. The following physico-chemical parameters were determined in the water samples: temperature, pH, electrical conductivity and dissolved oxygen, as well as metal content: lead (Pb), zinc (Zn), mercury (Hg), cadmium (Cd), copper (Cu) and arsenic (As). The metal content was determined in the sediment samples as well as in the water. According to the standard values for physical and chemical parameters specified by the Council Directive 75/440/EEC that are required of surface waters intended for the abstraction of drinking water in Member States, the water in the upper part of the Korbevačka River basin belongs to category A3, mainly because of the elevated values for Cu and Pb. The analysis of river sediments also showed that the concentration of Cu, Pb, Cd and Zn are over the values given by the Interim fresh water sediment quality guidelines ISQG – Canadian sediment quality guidelines. The high mobility and easy exchangeability of Pb, Cu, Zn and Cd in the investigated river sediment is very important for the quality of the river water, since these elements, when the conditions in the river system (pH, Eh or temperature) change, can reach the water.

Keywords: Redox potential, pH, metals, sediment/water system.

1. UVOD

Ravnoteža između reakcija izmene metala na površini voda–sediment je pod uticajem veoma različitih i kompleksnih faktora, kao što su: pH, redoks potencijal, jonski sastav vode, mikrobiološka aktivnost i koncentracija kompleksirajućih agenasa [1], [2]. Najintenzivnije interakcije metala u rečnoj vodi i sedimentu su povezane sa promenom redoks potencijala i pH vrednosti.

Redoks potencijal (Eh) u rečnim sedimentima je veoma promenljiv, najviše zbog konstantne interakcije sedimenta sa vazduhom i rečnom vodom. Vrednost redoks potencijala je određena i procesima u kojima se troši kiseonik (mikrobiološka degradacija organske supstance), a značajna je i temperatura rečne vode, od koje zavisi rastvorljivost kiseonika [1]. Vrednost redoks potencijala u rečnoj vodi je od –100 do +600 mV, a u rečnom sedimentu od –400 do 500 mV [3].

Ljiljana Đorđević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17500 Vranje (e-mail: ljiljana.djordjevic@akademijanis.edu.rs).

Akvatični sedimenti su veoma dinamični biogeohemijski sistemi i sastoje se od oksične zone koja leži preko anoksičnog materijala. Dubina granice između oksične i anoksične zone je pod uticajem odnosa difuzije kiseonika u sediment i potrošnje kiseonika od strane mikroba, kao i kompleksnih interakcija između taloženja, geohemijskih reakcija i fizičkih i hemijskih efekata bentosa [4].

Istraživanja su pokazala da izmerene vrednosti redoks potencijala u sedimentu, mogu biti povezane sa istim redoks reakcijama. Opseg redoks potencijala u sedimentima u kojima su oksidacija organske supstance i redukcija Fe(III) dominantne redoks reakcije da je +200 mV do –200 mV [5]. Međutim, redoks potencijal u ovom opsegu po drugim autorima [6] ukazuje na redukciju Mn(IV) i sulfata, kao dominantne redoks reakcije. Duan i saradnici uočili su da su prostorne i vremenske promene Eh veće u površinskim slojevima zemljišta (0-20 cm), nego u dubinskim (20-100 cm) [7]. Po ovim autorima, od površinskih slojevima do dubine od 100 cm, redoks potencijal se menjao od +100 do –200 mV, a u površinskom sloju (0-20 cm) je uvek bio ispod +100 mV, i to najčešće ispod 0 mV.

Često su male promene redukcionih uslova u sedimentacionoj sredini povezane sa velikim promenama u pogledu asocijacija metala. Ekwutosi i saradnici su zaključili da su organska supstanca, karbonati i sulfidi glavne faze za vezivanje teških metala u ekstremno anoksičnim sedimentima (redoks potencijal između −115 i −208 mV), a Fe–oksidi u blago anoksičnim sedimentima (redoks potencijal između −50 i −130 mV) [8]. Mikroelementi, koji su asocirani sa hidroksidima gvožđa i mangana, mogu da se mobilišu u redukcionim uslovima. Direktna posledica povećane biodostupnosti metala u vodenoj sredini je povećanje unosa tih elemenata od strane organizama (živog sveta) i akumulacija kroz lance ishrane [1].

pH vrednost vode određuje hemijske vrste mnogih metala i time utiče na njihovu dostupnost i toksičnost u vodenim sredinama [9]. pH vrednost rečnih voda iznosi od 5 do 10 [3]. Prirodne vode su najčešće slabo alkalne zbog prisustva karbonata i bikarbonata. Rastvorljivost većine elemenata i stabilnost njihovih jedinjenja su osetljivi na promene pH vrednosti. Samo alkalni metali i u manjoj meri zemnoalkalni metali, kao Ca^{2+}, su rastvorljivi i disosovani u čitavom normalnom geološkom opsegu vrednosti pH. Većina metala je rastvorljiva u obliku katjona u kiselim rastvorima, ali se talože uz povećanje pH. Povećana kiselost u slivu uslovljava veću mobilnost Cd, Zn, Ni, Pb, Cu, Mn i drugih metala, a time i njihove više koncentracije u vodi. Osim na rastvorljivost, koncentracija vodonikovih jona utiče na adsorpciju katjona na glinama, organskoj supstanci i drugim supstratima. Adsorpcija različitih čestica i koloida može se menjati od blizu 0 pri niskom pH do skoro 100% kada se pH poveća za nekoliko jedinica [9]. pH takođe utiče i na formiranje i stabilnost koloida.

Rastvaranje i taloženje u sedimentacionom ciklusu može u velikoj meri da zavisi od zajedničkog uticaja Eh i pH. Zbog toga se vrlo često koriste takozvani *„Eh-pH“ dijagrami*, koji na vrlo jednostavan način opisuju međusobnu zavisnost oksidacionih osobina (redoks potencijal – Eh) i kiselosti sredine (pH) [10]. Iz dijagrama „Eh-pH“ za svaki metal mogu da se kvantitativno odrede glavni kompleksi koje metal gradi u vodi, pa da se proceni pokretljivost metala u određenim uslovima. Treba istaći da je dijagram Eh-pH približan, budući da se ne uzima u obzir prisustvo drugih jona. Na granice intervala pH u kojima su sastojci vodenih rastvora stabilni, mogu da utiču brojni i raznovrsni faktori, tako da je teško navoditi neke precizne vrednosti pH za hidrolizu mikroelemenata. Ipak, prednost dijagrama je u tome što obuhvataju sve moguće uslove sredine koji realno mogu da nastanu u prirodi.

Rečni sedimenti imaju veliki kapacitet akumulacije jona teških metala, vezujući ih procesima adsorpcije, jonskom izmenom i koprecipitacijom, zbog čega se često analiziraju u cilju identifikacije izvora teških metala i procene zagađenja u akvatičnim ekosistemima [11]. Analiza sedimenta omogućuje identifikaciju zagađujućih supstanci koje su vezane za čvrstu fazu sedimenta, a koje nisu detektovane analizom vode. Teški metali akumulirani u sedimentu mogu ponovo da se mobilišu, zbog reverzibilne prirode njihovih interakcija sa čvrstom fazom sedimenta, i tako postanu dostupni vodenim organizmima [12].

Uticaj pH i Eh na mobilnost metala u sistemu sediment/voda pokazan je na primeru Korbevačke reke (JI Srbija). Korbevačka reka je desna pritoka Južne Morave u području Vranjske kotline u jugoistočnom delu Srbije, površine sliva 76,72 $km^{2.}$. Gornjim i srednjim tokom protiče kroz brdovito-planinski, a donjim kroz ravničarski teren (poljoprivredno zemljište), zbog čega su amplitude vode veoma visoke, a nanosi suspendovanog materijala veliki, 107 410 m^3/godišnje. Konfiguracija sliva Korbevačke reke, sa brdovito-planinskom konfiguracijom terena u gornjem i srednjem delu toka, kao i način snabdevanja vodom (kišnicom i snežnicom) uslovljavaju velike promene hemijskog sastava, kako vode, tako i rečnog sedimenta. Kvalitet vode i sedimenta Korbevačke reke bitno zavisi i od antropogenih faktora. Potencijalni antropogeni izvori zagađivanja su: rudnik olova i cinka „Grot“, oranice i voćnjaci, kao i naselja duž celog toka reke. Uzimajući u obzir antropogene izvore zagađivanja indikatori zagađenja mogu da budu: teški metali, poreklom iz rudnika i/ili veštačkih đubriva, organska jedinjenja, poreklom iz đubriva i sredstva za zaštitu poljoprivrednih kultura i sastojci komunalnih otpadnih voda.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Da bi se procenio uticaj pH i Eh na mobilnost metala u sistemu sediment/voda Korbevačke reke neophodno je bilo da se uradi analiza kako vode tako i sedimenta reke.

Uzorci vode i sedimenta uzorkovani su sa tri lokacije duž toka reke i to: 1 – jalovište rudnika „Grot“, gornji tok; 2 – ušće seleškog potoka u Korbevačku reku, srednji tok i 3 – mesto uliva Korbevačke reke u Južnu Moravu, donji tok. Ukupno je uzeto 33 uzoraka vode u periodu od 6 godina (2018-2024.god).

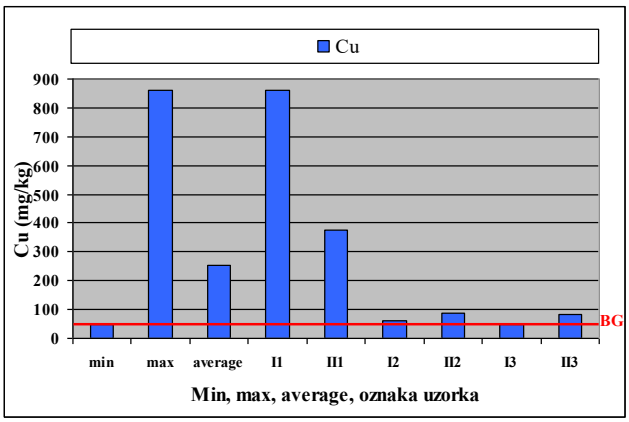
Uzorci rečnog sedimenta (kompoziti) uzorkovani su na mestima na kojima je uzorkovana i voda u istom periodu. Uzorci su označeni sa I_1, II_1, I_2, II_2, I_3 i II_3. Uzorci I_1, II_1 uzeti su u neposrednoj blizini mesta uzorkovanja vode sa lokacije 1; I_3 i II_3 uzeti su u neposrednoj blizini mesta uzorkovanja vode sa lokacije 3. Uzorci sedimenta I_2, II_2, uzorkovani su iz mirnog dela toka reke, posle ulivanja Seleškog potoka u Korbevačku reku i prate uzorak vode sa lokacije 2.

Uzorci vode i sedimenta uzorkovani su standardnim metodama (EPA [13], APHA [14] i ISO [15]). U uzorcima vode određeni su sledeći fizičko-hemijski parametri: temperatura (3.060.30 JUS H.Z.1 106:1970), pH (ISO 10523:1994), električna provodljivost (ISO 7888:1985) i rastvoreni kiseonik (JUS ISO 5813:1994) kao i sadržaj metala: olova (Pb), cinka (Zn), žive (Hg), kadmijuma (Cd), bakra (Cu) i arsena (As). U uzorcima sedimenta određen je sadržaj istih metala kao i u vodi. Ukupni metali su u uzorcima sedimenta ekstrahovani pomoću koncentrovane HNO_3 i 30% H_2O_2 [16]. Sadržaj metala je određen metodom atomske apsorpcione spektroskopije (AAS) (AWWA 3111 (A-C)) i hidridnom tehnikom (AAHT) (JUS ISO 11969:2000).

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati istraživanja ukazuju da rudnik olova i cinka „Grot“ predstavlja značajan izvor zagađivanja vode i sedimenta Korbevačke reke metalima. Od tri potencijalna izvora zagađivanja rudnik je identifikovan kao glavni. Na to ukazuju određene veće koncentracije metala, koji bi mogli da potiču iz rudnika, i u vodi i u sedimentu reke.

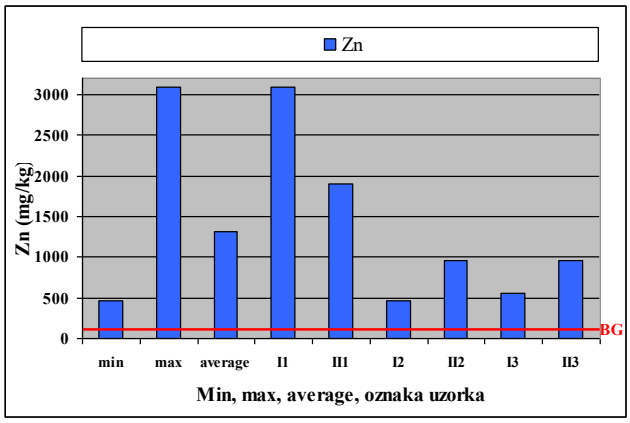
Rezultati poređenja fizičko-hemijskih parametara uzoraka vode reke sa evropskim standardom Council Directive 75/440/EEC, ukazuju da Korbevačka reka u svom gornjem toku reke pripada A3 klasi vode, zbog povećanog sadržaja Cu i Pb [17]. U svom srednjem i donjem toku voda reke pripada A2 klasi vode, po istoj direktivi. Vrednosti temperature u svim uzorcima vode je znatno niža od temperature date od strane EEC za površinske vode kategorije A2. Vrednosti pH su bile prilično ujednačene duž toka reke sa tendencijom porasta duž toka reke. Vrednosti pH ukazuju na slabo alkalne uslove u reci koji su karakteristični za prirodne vode. Vrednosti elektroprovodljivosti uzoraka vode reke kretale su se u ontervalu od 138,5 do 603 µS/cm, sa tendencijom smanjenja duž toka reke, i znatno su niže od dozvoljenih vrednosti za vode kategorije A2 (EEC) koja iznosi 1000 µS/cm. Rezultati određivanja koncentracije rastvorenog kiseonika pokazuju vrednosti koje su se kretale u opsegu od 10,40 do 12,43 mg/L i trend povećanja njegove koncentracije duž toka reke. Visoke vrednosti rastvorenog kiseonika duž celog toka reke ukazuju na oksidacionu sredinu u vodi reke nezavisno od mesta i



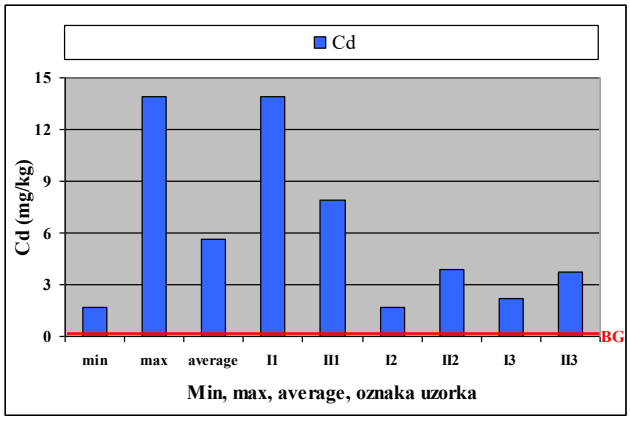
vremena uzorkovanja vode.

Slika 1. *Koncentracija bakra (Cu) u uzorcima sedimenta Korbevačke reke.*

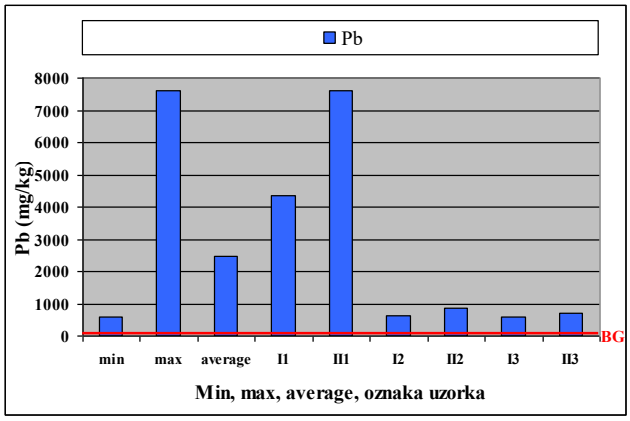
Koncentracije bakra, olova, cinka i kadmijuma su povećane u sedimentu reke prema „Interim fresh water sediment quality guidelines“, ISQG [18].



Slika 2. *Koncentracija cinka (Zn) u uzorcima sedimenta Korbevačke reke.*



Slika 3. *Koncentracija kadmijuma (Cd) u uzorcima sedimenta Korbevačke reke.*



Slika 4. *Koncentracija olova (Pb) u uzorcima sedimenta Korbevačke reke.*

Ovi metali potiču iz samog rudnika jer je koncentracija ovih katjona, osim koncentracije kadmijuma, povećana i u vodi. Smanjivanje koncentracije metala u sedimentu duž toka reke praćeno je smanjivanjem koncentracije istih katjona u vodi. Kadmijum se najverovatnije zbog najmanje rastvorljivosti i najbrže vezivao za sediment, zbog čega se u vodi ne nalazi, a nalazi se u sedimentu.

4. ZAKLJUČAK

Na raspodelu metala u sedimentu reke fizičko-hemijski parametri sredine imaju najvažniju ulogu. Relativno visoke koncentracije rastvorenog kiseonika ukazuju na konstantnu oksidacionu sredinu što je od značaja prilikom interpretacije ponašanja metala u funkciji Eh i pH. Vrednosti pH u svim uzorcima vode ukazuju na slabo alkalnu sredinu i sredinu u kojoj dolazi do akumulacije metala u sedimentu reke. Velika mobilnost i laka izmenjivost Pb, Cu, Zn i Cd u ispitivanom sedimetu reke je veoma značajna za kvalitet vode reke, pošto ovi elementi, pri promeni uslova u rečnom sistemu (pH, Eh ili temperature), mogu dospeti u vodu. Sa povećanjem redoks potencijala i sa smanjenjem pH sve ispitivani metali pokazuju tendenciju prelaska iz sedimenta u rečnu vodu što se nedvosmisleno može ustanoviti preko Eh-Ph dijagrama ispitivanih metala. Arsen je podložan uticaju oba fizičko-hemijska parametra (Eh i pH), dok na olovo, cink, bakar i živu pretežno utiču samo promene pH. Na poslednje pomenute elemente ne utiče Eh jer su oni u oksidacionoj sredini pri pH vrednostima oko 7 stabilni i ne pokazuju tendenciju menjanja svog oksidacionog stanja a time i mebilnosti. Kadmijum se pojavljuje samo u jednom oksidacionom stanju u prirodi tako da na njega utiče samo promena pH. Relativno ustaljena temperatura reke ukazuje da ovaj parametar zaista nema uticaja na promenu koncentracije metala u reci, jer bez značajnih promena temperature nema većih promena u kinetici rastvaranja niti u stepenu rastvorljivosti praćenih komponenti u ovom istraživanju. Vrednosti električne provodljivosti to takođe potvrđuju.

LITERATURA

[1] E. Nijeje, A. Senyonjo, S.J. Sahan et al., Speciation of Selected Heavy Metals in Bottom Sediments of River Rwizi, Mbarara City, Uganda. Water Air Soil Pollut 234, 193, 2023.

[2] K.O. Ekwutosi, P.A.O. Chudi, and E.N. Harity, Chemical speciation and potential mobility of heavy metals in the soils of Onitsha South local government area Anambra Nigeria. American Journal of Applied Chemistry, 8(3), 74–81, 2020.

[3] B. Shen, X.Wang, Y.Zhang, M. Zhang, K. Wang, P. Xie, Ji.Ho ngbing, The optimum pH and Eh for simultaneously minimizing bioavailable cadmium and arsenic contents in soils under the organic fertilizer application, Science of The Total Environment, Vol. 711, 135229, 2020.

[4] L. Duan, J. Song, X. Liang, M. Yin, H. Yuan, X. Li, C. Ren, B. Zhou, X. Kang and X. Yin, Dynamics and diagenesis of trace metals in sediments of the Changjiang Estuary, Science of the Total Environment, 675, 247–259, 2019.

[5] D.R. Lovley and S. Goodwin, Hydrogen concentrations as an indicator of the predominant terminal electron-accepting reactions in aquatic sediments, Geochimica et Cosmochimica Acta 52, 2993-3003, 1988.

[6] A.O. Aigberua, J.T. Tarawou and C.Y. Abasi, Effect of oxidation-reduction fluctuations on metal mobility of speciated metals and arsenic in bottom sediments of Middleton River, Bayelsa State, Nigeria, Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 22(9), 1511–1517, 2018.

[7] L. Duan, J. Song, X. Liang, M. Yin, H. Yuan, X. Li, C. Ren, B. Zhou, X. Kang and X. Yin, Dynamics and diagenesis of trace metals in sediments of the Changjiang Estuary, Science of the Total Environment, 675, 247–259, 2019.

[8] K.O. Ekwutosi, P.A.O. Chudi and E.N. Charity, Chemical speciation and potential mobility of heavy metals in the soils of Onitsha South local government area Anambra Nigeria, American Journal of Applied Chemistry, 8(3), 74–81, 2020.

[9] D.S. Veselinović, I.A. Gržetić, Š.A. Đarmati i D.A. Marković, Stanje i procesi u životnoj sredini, Fakultet za fizičku hemiju, Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2005.

[10] H.H. Huang, The Eh-pH Diagram and Its Advances, Metals, 6(1), 23, 2016.

[11] J.B. Sibomana, J. Habinshuti, T. Muhizi, J.C. Safari and B. Mukarunyana, A chemical speciation study of selected heavy metals in aquatic bottom sediment samples from Mpenge stream, Musanze District, Rwanda, African Journal of Environmental Science and Technology, 13(11), 450–455, 2019.

[12] O. Walter, J. Wasswa, C.K. Nakiguli and E. Ntambi, Spatial variation in physicochemical surface water quality in River Rwizi, Western Uganda, Journal of Water Resource and Protection, 11(12), 1427–1440, 2019.

[13] EPA (1983) Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, EPA/600/4-79/020

[14] APHA-AWWA-WEF, Standard Methods for the Examination Water and Wastewater, 20th Edition, 1998.

[15] ISO 5667-3, Water quality – Sampling-Part 3: Guidance on the preservation and handing of samples, 1995.

[16] M.P. Dibueng, M.V. Sihle and N. Philiswa, Microwave-Assisted Extraction of Trace Metals from Sediments using Dilute Hydrogen Peroxide and Dilute Nitric Acid Prior to their Determination by Inductively Couple Plasma-Optical Emission Spectrometry, Current Analytical Chemistry, 16(8), 2020.

[17] EEC, Council Directive 75/440/EEC of 16 June 1975 concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in Member States (OJ L 194, 25.7.75, p. 26), 1975.

[18] ISQG, Interim fresh water sediment quality guidelines. Canadian sediment quality guidelines, Environment Canada [EC], 2002.

TECHNOLOGICAL PROCESS FOR PRODUCING THE SPECIAL CRAFT BEER "ALE STOUT FRAPPE" – PILOT PROJECT

TEHNOLOŠKI PROCES PROIZVODNJE SPECIJALNOG ZANATSKOG PIVA „ALE STOUT FRAPPE" – PILOT PROJEKAT

Srđan Tasić

Abstract - The demand for specialty dark and black craft beers in Serbia has been steadily increasing each year. Surveys conducted at major beer festivals in Serbia have shown that visitors predominantly consume craft beer, with sensory attributes playing a decisive role in ensuring quality, fostering consumer loyalty, and supporting the growth of so-called "craft tourism". Currently, more than 50 breweries are officially registered in Serbia, while it is believed that at least as many operate within the informal "grey" sector. Notably, there is no brewery located in the Pčinja administrative district. In recent years, however, initiatives have been launched to establish a mini craft brewery within the Vranje Department of the Academy of Technical Educational Vocational Studies in Niš. This pilot project aimed to produce a special dark ale craft beer (unfiltered, cloudy, and unpasteurized) with an elevated carbon dioxide content, designed to resemble *frappé coffee* in both appearance and sensory characteristics. Fermentation was carried out with the top-fermenting yeast strain *SafAle S-04*, commonly recommended for a broad range of ale beers, including "Stouts". The quality parameters assessed in the produced beer included: microbiological integrity, original extract, alcohol content, color, turbidity, carbon dioxide concentration, pH value, sulfur dioxide content, color intensity, and specific gravity. All results were consistent with legal standards. The technological procedure described in this pilot project successfully yielded a special "Ale Stout Frappé", an unfiltered, cloudy, and unpasteurized craft beer with a CO_2 concentration of 5.1 g/L. The final product combines the visual and organoleptic features reminiscent of *frappé coffee* with the distinctive character and harmonious flavor profile of traditional ale craft beer.

Keywords: Special dark craft beer, ALE Stout Frappe, pilot project.

Sadržaj - Potražnja za specijalnim tamnim i crnim kraft pivima u Srbiji iz godine u godinu beleži stabilan rast. Istraživanja sprovedena na najvećim pivskim festivalima u Srbiji pokazala su da posetioci pretežno konzumiraju kraft pivo, pri čemu senzorne karakteristike imaju presudnu ulogu u obezbeđivanju kvaliteta, izgradnji lojalnosti potrošača i podsticanju razvoja tzv. „kraft turizma". Trenutno je u Srbiji zvanično registrovano više od 50 pivara, dok se procenjuje da najmanje još toliko posluje u okviru neformalnog „sivog" sektora. Značajno je napomenuti da se na teritoriji Pčinjskog upravnog okruga ne nalazi nijedna pivara. Međutim, poslednjih godina pokrenute su inicijative za osnivanje mini kraft pivare pri Odseku u Vranju Akademije tehničko-vaspitačkih strukovnih studija u Nišu. Ovaj pilot-projekat imao je za cilj proizvodnju specijalnog tamnog ale kraft piva (nefiltriranog, mutnog i nepasterizovanog) sa povišenim sadržajem ugljen-dioksida, osmišljenog tako da izgledom i senzornim karakteristikama podseća na frape kafu. Fermentacija je sprovedena pomoću kvasca gornjeg vrenja *SafAle S-04*, koji se uobičajeno preporučuje za širok spektar ale piva, uključujući "Stouts". Parametri kvaliteta analizirani u proizvedenom pivu obuhvatali su: mikrobiološku ispravnost, početni ekstrakt, sadržaj alkohola, boju, zamućenost, koncentraciju ugljen-dioksida, pH vrednost, sadržaj sumpor-dioksida, intenzitet boje i specifičnu gustinu. Svi dobijeni rezultati bili su u skladu sa važećim zakonskim standardima. Tehnološki postupak opisan u ovom pilot-projektu uspešno je rezultirao proizvodnjom specijalnog piva "Ale Stout Frappé", nefiltriranog, mutnog i nepasterizovanog kraft piva sa koncentracijom CO_2 od 5,1 g/L. Finalni proizvod objedinjuje vizuelne i organoleptičke karakteristike koje podsećaju na frape kafu sa prepoznatljivim karakterom i harmoničnim aromatsko-ukusnim profilom tradicionalnog ale kraft piva.

Ključne reči: Specijalno tamno kraft pivo, Ale Stout Frappe, pilot projekat.

1. INTRODUCTION

Beer is traditionally produced by fermenting wort with pure brewer's yeast cultures, while in exceptional cases it may result from spontaneous fermentation or the application of mixed microbial cultures.

The term craft beer, coined in the 1970s, refers to a distinctive style of beer production characterized by small-scale capacity and a strong emphasis on continuous enhancement of flavor, quality, and brewing technology. This approach to brewing has gained the greatest popularity in the

Srđan Tasić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17000 Vranje (imejl: srdjan.tasic@akademijanis.edu.rs).

United States, Canada, the United Kingdom, and several European Union countries, including Germany, Austria, and Sweden. Globally, the craft brewing trend continues to grow steadily. In Serbia, more than 50 breweries are officially registered, while it is estimated that a similar number of craft breweries operate within the informal "grey" sector. Surveys conducted at major beer festivals in Serbia indicate that visitors predominantly consume craft beer, with sensory attributes playing a key role in maintaining and shaping product quality, as well as in attracting loyal consumers and fostering so-called craft tourism [1]. The ongoing "beer revolution" is regarded as one of the main driving forces behind the expansion of beverage tourism [2].

In the production of light beer, light malt is used exclusively, whereas dark beer is brewed using a combination of light and dark malts, supplemented with special varieties such as roasted or caramel malts. Dark beer represents a complex system of organic and inorganic compounds dissolved in a weak aqueous alcohol solution. Its distinctive flavor is primarily attributed to melanoidins. Owing to its complexity, dark beer is highly sensitive to physical and chemical influences. The delicate balance achieved in this system can be easily disrupted by factors such as temperature fluctuations, pressure changes, oxidation, or contact with metals and fats.

In the Serbian beer market, a wide variety of domestic and foreign brands are available, the majority of which are produced industrially, while only a small share consists of craft beers. Among the dark craft beers that stand out are: "Crna Krava – Milk Stout" by "Dogma Brewery" d.o.o., Belgrade; "Despot" by "Carstvo Piva" d.o.o., Novi Sad; "Black Rider" by "Razbeerbriga" d.o.o., Bukovac; and "Dip in the Dark" by "Kabinet Brewery" d.o.o., Sopot, among others.

This research aimed to produce a craft dark ale (unfiltered, cloudy, and unpasteurized) with an elevated carbon dioxide content, designed to resemble frappé coffee in both appearance and flavor. For this purpose, one type of light malt, two types of dark malt, and one type of chocolate malt were used, along with two hop varieties.

The production of this unfiltered, cloudy, and unpasteurized dark beer was carried out in the Food Technology Laboratory of the Vranje Department, Academy of Technical Educational Vocational Studies in Niš, Republic of Serbia.

This specific beer belongs to the Pale Ale style. It was produced in a pilot plant equipped with a BM-S400M-1 brewing vessel and a FER-32VV fermenter.

To achieve the desired aroma, two hop varieties were used: "Magnum" and "Saaz". Fermentation was carried out with the top-fermenting yeast strain SafAle S-04, which is commonly recommended for producing a wide range of "ale" beers, including "Stout" beers.

2. MATERIAL AND METHODS

Raw materials for the production of dark beer

For the production of dark beer, we used four types of malt: "Beastly Pilsen", "Black Bear – Black Malt", "Captain classic – Cara Malt" and "Reliable lighthouse – Chocolate malt".

1) "**Beastly Pilsen**" light malt, produced by the Hungarian company Badass Barley, was used as the base malt, offering a pronounced sweet flavor and sufficient enzymatic **activity** for effective starch conversion.
2) "**Black Bear – Black Malt**", produced by Pauls Malt (UK), was used to achieve a deep, dark color. This malt is created by roasting dried malt in an oven at temperatures up to 240 °C, slightly longer than typical chocolate malt. Its flavor profile features biscuit notes with hints of roasted coconut, and it is less astringent than traditional roasted barley.
3) **"Captain Classic – Cara Malt",** produced by Pauls Malt (U.K.), is roasted in a final stage at lower temperatures for a longer duration to achieve a lower color index, higher extract content, and increased moisture. It was used in this beer to impart a sweet, caramel-like flavor.
4) **"Reliable Lighthouse – Chocolate Malt",** produced by Pauls Malt (U.K.), belongs to the category of light chocolate malts. It is made by roasting previously dried malt at 220 °C, with controlled water addition to extend roasting time and to quench and cool the malt, preventing burning. This malt imparts a dark red hue to the beer and contributes a biscuit-like flavor with notes of roasted coconut.



Figure 1: *Varieties of malt used (left) and produced wort (right)*

We used two varieties of hops for flavoring (*Humulus lupulus* L.): "Magnum" and "Saaz":

1) **Magnum** is a German, non-aromatic hop variety produced by Hallertauer, used in this beer to provide the desired bitterness due to its high alpha acid content.
2) **Saaz** is a classic Czech "noble" hop variety, known for its balanced bitterness, mild and pleasant hop character, and subtle herbal notes.

For fermentation, the brewer's yeast strain SafAle™ S-04 (*Saccharomyces cerevisiae*) was used. This top-fermenting yeast exhibits rapid fermentation and a high flocculation rate, with an optimal growth temperature of 15–19 °C. It is suitable for a wide range of "ALE" beers, including Stout-si, Porter-i, Brown Ale, and Mild, and has an alcohol tolerance of 9–11%.

For the production of this dark beer, oligomineral spring water was used whose total dry residue (at 180 °C) is 52 mg/L, where the content of calcium (Ca^{++}) 19.6 mg/L, magnesium (Mg^{++}) 10.82 mg/L, sodium (Na^{+}) 2.7 mg/L, potassium (K^{+}) < 1 mg/L, bicarbonate (HCO_3^{-}) 42.7 mg/L, sulfate (SO_4^{--}) 5.2 mg/L, chloride (Cl^{-}) < 1 mg/L, silicate (SiO_2/SiO_3^{--}) 13.2/17.2 mg/L. This water has already proven to be very good for the production of lager beer [3].

The beer was produced in the Pilot Plant of the Food Technology Laboratory, equipped with a BM-S400M-1 brewing vessel and a FER-32VV fermenter.

We did not address the issue of limited spontaneous foaming in stout beer by adding nitrogen [4]. Instead, we increased the carbonation of our dark beer by adding glucose at a concentration of 10 g/L.

Technological process

In the BM-S400M-1 brewing vessel, 21 L of water was heated to 62 °C, after which 6.6 kg of coarsely ground malt—comprising 4.1 kg Pilsner, 1.1 kg Captain Classic, 0.7 kg Chocolate malt, and 0.7 kg Cara malt—was added to the vessel's basket. The mixture was maintained at 62 °C and allowed to undergo a 70-minute mash with continuous wort recirculation. At the end of mashing, the temperature was raised to 72 °C and held for an additional 10 minutes. The next stage was squeezing, performed by raising the basket above the brewing vessel to allow gravity squeezing of the wort through its perforations, followed by rinsing with 16 L of water preheated to 78 °C in a separate vessel. The separated beer trope, rich in arabinoxylan, can serve as a valuable prebiotic in human nutrition [5] and has applications in biotechnology [6]. This process yielded 32 L of wort.

The next stage of production was hopping. The wort was heated to 100 °C, and 10 g of Magnum hops were added and boiled for 60 minutes. Midway through the boil, 33 g of Saaz hops were added, followed by an additional 17 g of Saaz hops 10 minutes before the end of boiling. Afterwards, the heat was turned off, and the hopped wort was allowed to rest in a covered container for 30 minutes.

After hopping, the wort was cooled to 20 °C using a spiral cooler with city water. The cooled wort was then aerated and transferred to a stainless steel FER-32VV fermenter, after which 11.5 g of SafAle™ S-04 yeast—previously rehydrated in 100 mL of sterile water—was added. Fermentation proceeded for eight days at 18 °C, followed by cooling the fermenter to 2 °C for 48 hours to clarify the beer. The yeast sediment was then removed from the conical portion of the fermenter, and a sterile glucose solution (10 g/L of beer) was added, mixed well, and the young dark beer was bottled in glass containers. Secondary fermentation in the bottles occurred over ten days at 20 °C. Afterwards, the bottles were stored in a refrigerator until examination and consumption.

Glucose concentration, specific gravity, cell vitality, pH, dry matter (°Bx), and ethanol content were monitored throughout the entire fermentation process.

3. RESULTS AND DISCUSION

According to the valid Rulebook on beer quality [7], the following quality parameters are tested: extract of the basic raw material, alcohol content, color, turbidity, carbon dioxide content, pH value, sulfur dioxide content, carbohydrate content and iodine value. Test methods and analysis results are shown in Table 1.

Table I *Results of analysis of physico-chemical and microbiological parameters of unfiltered cloudy and unpasteurized special dark "ALE" craft beer (Institute of Public Health – IPH, Vranje; Center for Hygiene and Human Ecology)*

Quality parameter	Test method (IPH Vranje)	Unit measure	Result	Ref. value
CO_2 content	SRPS E.M2.050 1959	g/L	5,1	≥ 3
Extract in the basic raw material	SRPS E.M2.050 1959	%	13,5	
pH	SRPS E.M2.050 1959		4.5	≤ 5
Total SO_2 content	SRPS E.M2.050 1959	mg/L	11	max. 20
Determination of ethanol in beer	ZZ148	% vol	4,4	
Intensity of color	Spectrophotometric (430 nm)	EBC	34	15-40
Specific gravity	Volumetric	g/mL	1.015	
Enterobacteriaceae at 37^{0}C	SRPS ISO 21528-2:2009	cfu/mL	0	
Salmonella spp (25 mL)	SRPS EN ISO 6579:2008		0	0
Aerobic bacteria count	SRPS EN ISO 4833-1:2014	cfu/mL	<1	<1
Yeast and molds	SRPS EN ISO 21527-2:2011	cfu/mL	<1	<1

The demand for craft beer in Serbia has steadily increased over the past decade [8]. This growth is driven by rising consumer interest in diversified beer, a variety of beer styles, and increasing incomes. Key obstacles to craft beer consumption include a shortage of qualified brewers and restrictive tax policies. Main motivational factors for establishing a craft brewery are the lack of diverse beer offerings and attractive business opportunities [9].

Most craft beer producers in Serbia focus on the domestic market, primarily distributing to areas geographically close to their production sites.

There is currently no brewery in the Pčinja administrative district. In recent years, efforts have been made to establish a mini craft brewery within the Vranje Department of the Academy of Technical Educational Vocational Studies in Niš. Following the successful production of unfiltered, cloudy, and unpasteurized light "Ale" and gluten-free craft beers [10] in the pilot plant of the Academy's Food Technology Laboratory, pilot production of an unfiltered, cloudy, and unpasteurized dark "Ale" craft beer was initiated, forming the focus of this project.

REFERENCES

[1] Jurić, V., Lončarić, R., Kristić, J., Crnčan, A., Pečurlić, L., & Jelić Milković, S. (2025). Preferencije potrošača u konzumaciji craft piva: analiza stavova i ponašanja na hrvatskom tržištu. Agroeconomia Croatica, 15(1), 4-13.

[2] Pantović, D., Kostić, M., Seočanac, M., Cvianović, D., & Davidović, J. (2024). Exploring the Craft Beer Experience in Serbia: The Consumer Perspective. Economic of Agriculture, 71(3), 909-922.

[3] Tasić, S. (2010). Bakterije u izvorima Vlasine [Srbija]. Posebna izdanja-Zadužbina Andrejević (Serbia), (253).

[4] Lee, W. T., & Devereux, M. G. (2011). Foaming in stout beers. American Journal of Physics, 79(10), 991-998.

[5] F Coelho, E., Rocha, M. A. M., Moreira, A. S., Domingues, M. R. M., & Coimbra, M. A. (2016). Revisiting the structural features of arabinoxylans from brewers' spent grain. Carbohydrate Polymers, 139, 167-176.

[6] Pejin, J. D., Radosavljević, M. S., Grujić, O. S., Mojović, L. V., Kocić-Tanackov, S. D., Nikolić, S. B., & Djukić-Vuković, A. P. (2013). Mogućnosti primene pivskog tropa u biotehnologiji. Chemical Industry / Hemijska Industrija, 67(2).

[7] Narodna skupština RS (2014). Pravilnik o kvalitetu piva. Beograd: Službeni glasnik RS, br. 145/2014

[8] Gajić, T., Popov Raljić, J., Blešić, I., Aleksić, M., Vukolić, D., Petrović, M. D., ... & Sikimić, V. (2021). Creating opportunities for the development of craft beer tourism in Serbia as a new form of sustainable tourism. Sustainability, 13(16), 8730.

[9] Pokrivčak, J., Supeková, S. C., Lančarič, D., Savov, R., Tóth, M., & Vašina, R. (2019). Development of beer industry and craft beer expansion. Journal of Food & Nutrition Research, 58(1).

[10] Tasić, S., Janjić, A., & Đorđević, S. (2023). Testing the possibility of production of organic gluten-free light kraft ipa beer from integral cereals and pseudocereals. KNOWLEDGE-International Journal, 60(3), 403-408

TEMPORALNA ANALIZA PROCESA U TELU DEPONIJE: OSNOVA ZA OPTIMIZACIJU MONITORINGA

TEMPORAL ANALYSIS OF PROCESSES WITHIN LANDFILL BODY: A BASIS FOR MONITORING OPTIMIZATION

Natalija Petrović i Nemanja Petrović

Sadržaj – Procedne deponijske vode predstavljaju jedan od najdugoročnijih izvora rizika po podzemne i površinske vode, pri čemu dinamika migracije polutanata zavisi od konstrukcije deponije i faze njenog životnog ciklusa. U ovom radu sprovedena je temporalna analiza ukupnog azota (TN) kao indikatorske komponente dugotrajnog opterećenja, kroz poređenje sanitarnih deponija sa projektovanim zaštitnim sistemom barijera i nesanitarnih deponija bez barijera. Primenom prediktivnog modelovanja (LandSim) identifikovane su ključne vremenske tačke pojave, maksimuma i opadanja TN, koje određuju karakter rizika. Rezultati pokazuju da nesanitarne deponije ispoljavaju rano i intenzivno opterećenje, sa pojavom TN oko treće godine i maksimumom oko desete godine, dok sanitarne deponije imaju odloženo, ali dugotrajno ispoljavanje koje počinje tek nakon više stotina godina. Na osnovu uočenih obrazaca formiran je optimizovan, fazni predlog učestalosti monitoringa, usklađen sa periodima najvećeg rizika. Dobijeni rezultati ukazuju da standardni period post-zatvaranja nije dovoljan da obuhvati kasne faze rizika sanitarnih deponija i da je neophodno uvođenje dugoročnog, adaptivnog monitoringa zasnovanog na stvarnoj dinamici procednih voda. Predloženi okvir može služiti kao alat za unapređenje upravljanja deponijama i planiranje održivog post-closure monitoringa deponija.

Ključne reči: procedne vode, ukupni azot, sanitarna deponija, nesanitarna deponija, LandSim, monitoring.

Abstract – Landfill leachate represents one of the most persistent sources of long-term risk to groundwater and surface water, with the temporal dynamics of pollutant migration strongly influenced by landfill design and the stage of its life cycle. This study conducts a temporal analysis of total nitrogen (TN) as an indicator of long-lasting contaminant load, comparing sanitary landfills with engineered barrier systems to non-sanitary landfills lacking protective measures. Using predictive modelling (LandSim), key temporal points of TN appearance, peak values and subsequent decline were identified, defining characteristic risk profiles for each scenario. The results show that non-sanitary landfills exhibit early and intensive impacts, with TN appearing around the third year and reaching peak concentrations near the tenth year, whereas sanitary landfills demonstrate delayed but prolonged effects, with detectable increases occurring only after several centuries. Based on the observed patterns, an optimized, phase-adjusted monitoring strategy was developed, aligned with periods of highest environmental risk. The findings indicate that the standard post-closure period is insufficient to capture the late-stage risks associated with sanitary landfills, underscoring the need for long-term, adaptive monitoring guided by actual leachate behavior. The proposed framework provides a practical tool for improving landfill management and planning sustainable post-closure monitoring programs.

Keywords: leachate, total nitrogen, sanitary landfill, non-sanitary landfill, LandSim, monitoring.

1. UVOD

Deponijske procedne vode predstavljaju jedan od najdugoročnijih i najkompleksnijih izvora rizika po podzemne i površinske vode. Nastaju perkolacijom padavina i infiltracionih voda kroz telo deponije, pri čemu dolazi do rastvaranja, suspendovanja i transporta organskih i neorganskih jedinjenja iz otpada [1]. Sastav procedne vode zavisi od starosti deponije, tipa otpada, stepena kompakcije, hidroloških uslova i prisustva/odsustva zaštitnih barijera [2].

U ranim fazama odlaganja dominiraju aerobni i acetogeni procesi, uz povišene koncentracije lako razgradivog organskog opterećenja. Tokom vremena, proces prelazi u metanogenu fazu sa redukcijom BPK/HPK odnosa, stabilizacijom pH i postepenim smanjenjem rastvorljivog organskog opterećenja, ali dugoročna prisutnost azotnih jedinjenja, hlodrida, sulfata i metala ostaje značajna [3].

Natalija Petrović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: natalija.petrovic@akademijanis.edu.rs).

Nemanja Petrović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: nemanja.petrovic@akademijanis.edu.rs).

Standardni post-closure period (oko 30 godina) uobičajen u propisima zemalja EU i regiona često je nedovoljan, jer brojni dugoročni programi monitoringa pokazuju da koncentracije nekih komponenti mogu porasti na receptoru tek nakon više stotina godina, naročito kod sanitarnih deponija sa niskom infiltracijom [4,5]. Zbog toga je sve izraženija potreba za performansno zasnovanim pristupom monitoringu, koji bi uzimao u obzir vremenske obrasce migracije polutanata, a ne samo administrativno definisane periode. U ovom radu izvršena je temporalna analiza ukupnog azota (TN) kao indikatorske komponente dugotrajnog prisustva polutanata u procednim vodama.

Izvršena je uporedna analiza dve tipične konfiguracije deponija:

1. sanitarne deponije sa inženjerskim zaštitinim sistemima (EBS)
2. nesanitarne deponije bez barijera.

Cilj rada je bio da se kroz validirane prediktivne modele (LandSim) mapiraju karakteristične tačke vremena – pojava TN, rani maksimum, stagnacija, kasni porast – i da se na

osnovu toga formira optimizovan, adaptivan plan monitoringa koji odgovara stvarnoj dinamici rizika.

2. METODOLOGIJA

2.1. Modelovanje i izbor ulaznih parametara

Za prediktivnu simulaciju kretanja procednih voda primenjen je softver LandSim 2.5, koji koristi Monte Carlo pristup i stohastičku distribuciju ulaznih parametara kako bi obuhvatio varijabilnost infiltracije, degradacije i geotehničkih karakteristika [6]. Model je pokrenut kroz 1000 iteracija, što predstavlja standard u probabilističkim hidrogeološkim analizama.

Ulazni parametri obuhvatili su:

- padavine i evapotranspiraciju (regionalni dugogodišnji niz),
- karakteristike otpada (poroznost, sadržaj vlage),
- debljinu i kvalitet barijera (sanitarni scenario),
- hidrauličku provodljivost podloge i podzemnog akvifera,
- koncentracije TN i pratećih jedinjenja na izvoru (NO_2^-/NO_3^-, hloridi, sulfati).

Parametri su preuzeti iz realnih merenja sa teritorije Srbije i regiona [7] uz dopunu međunarodnim izvorima [2,5].

2.2. Definisanje scenarija

U skladu sa ciljevima rada, simulirana su dva scenarija:

Scenario 1 – Sanitarna deponija (EBS)

- kompozitna barijera (glina + geomembrana)
- drenažni sistem i sakupljanje procedne vode
- završna pokrivka
- minimizovana infiltracija i odložena migracija polutanata

Scenario 2 – Nesanitarna deponija

- bez barijera
- direktna infiltracija padavina
- brža formacija i migracija procedne vode
- rani prenos TN do receptora

U analizama je obuhvaćen dugoročni vremenski period, u rasponu od više decenija, kako bi se prikazale sve faze migracije i opadanja emisija nakon zatvaranja deponije. Ovo je u skladu sa literaturom, gde Laner et al. (2012) pokazuju da pojedine komponente procednih voda, kao što je amonijum-azot, mogu zahtevati više od 500 godina da dostignu tolerantne koncentracije.

2.3. Definisanje „kritičnih tačaka vremena“

Na osnovu prethodnih istraživanja i teorijskih modela biodegradacije otpada [1], definisano je pet ključnih vremenskih tačaka:

- 3 godine - rana pojava TN na receptoru
- 10 godina - rani maksimum (dominantno za nesanitarne deponije)
- 30 godina - kraj odlaganja i početak stabilizacije
- 100 godina - pad koncentracija komponenti (nesanitarne deponije)
- 200-300 godina i 700-900 godina - pojava i kasni maksimum TN na sanitarnim deponijama.

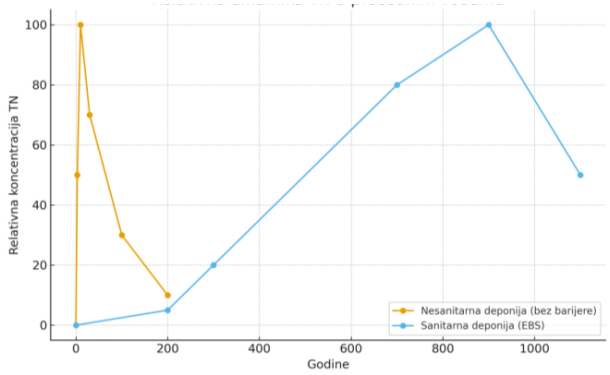
Ove tačke korišćene su kao baza za kasniji razvoj „operativne matrice monitoringa“.

Validacija je izvršena poređenjem simuliranih koncentracija TN sa stvarnim merenjima procednih voda (nacionalne baze podataka i lokalna merenja sa deponija u Srbiji) [7].

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Uporedna dinamika ukupnog azota (TN) - sanitarna vs. nesanitarna deponija

Na slici 1 prikazana je simulirana promena koncentracije ukupnog azota (TN) na receptoru za oba scenarija. Dobijeni profili jasno pokazuju razlike u dinamici migracije procednih voda između sanitarnih i nesanitarnih deponija.



Slika 1. *Relativna dinamika TN u procednim vodama*

U nesanitarnom scenariju, TN na receptoru dostiže merljive vrednosti već oko treće godine, nakon čega usled ubrzanog dotoka infiltracionih voda i odsustva barijera dolazi do brzog rasta koncentracija. Maksimalne vrednosti registrovane su oko desete godine, što predstavlja tipičan “front-loaded“ rizik karakterističan za deponije bez zaštitnih sistema. Nakon dostizanja maksimuma, koncentracije ostaju povišene sve do završetka aktivnog odlaganja (oko 30 godina). Tek nakon toga počinje opadajući trend, sa izraženim padom u intervalu 150–200 godina, kada sistem ulazi u fazu dugoročnog slabljenja izvora zagađenja.

Suprotno tome, sanitarna deponija pokazuje potpuno drugačiji oblik TN krive. Zbog prisustva kompozitne barijere, drenaže i završne pokrivke, migracija procedne vode značajno je usporena. Prve merljive koncentracije TN na receptoru javljaju se tek u periodu između 200. i 300. godine, što potvrđuje odloženi karakter rizika u inženjerski projektovanim sistemima. Nakon početne pojave, koncentracije postepeno rastu i dostižu kasni maksimum u intervalu 700-900 godina, što je u potpunosti u skladu sa relevantnom literaturom koja navodi da se kod dobro projektovanih sanitarnih deponija „emisije procedne vode mogu manifestovati tek nakon više vekova“ [8].

Ovakva uporedna analiza ukazuje da tip konstrukcije deponije presudno određuje vreme pojave i intenzitet rizika:

- nesanitarne deponije ukazuju na rano ispoljavanje i visoke koncentracije;
- sanitarne deponije ukazuju na izrazito kasno ispoljavanje, ali dugotrajan rizik.

3.2. Kritične tačke vremena i njihove operativne implikacije

Tabela 1 sumira ključne vremenske tačke identifikovane za oba scenarija. Njihovo razumevanje je od suštinskog značaja za planiranje monitoringa.

Tabela I *Kritične tačke TN*

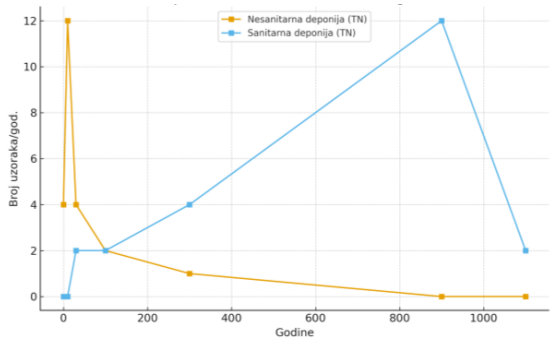
Tip deponije	Kritična tačka (god.)	Dinamika TN
Nesanitarna	≈3–4	Prva detekcija / rast
Nesanitarna	10	Rani maksimum
Nesanitarna	30	Kraj odlaganja; početak pada
Nesanitarna	150–200	Izražen pad
Sanitarna	≥200–300	Kasna pojava na receptoru
Sanitarna	700–900	Kasni maksimum
Sanitarna	>1000	Pad i stabilizacija

Kritične tačke vremena prikazane u tabeli 1 ukazuju na to da nesanitarne deponije ispoljavaju rani i intenzivan rizik, dok sanitarne deponije imaju odloženo, ali dugotrajno ispoljavanje uticaja. Period 3-10 godina kod nesanitarnih deponija zahteva pojačano praćenje zbog rane pojave i maksimuma TN, dok period nakon 30. godine pokazuje stabilizaciju i omogućava racionalno proređivanje merenja. Kod sanitarnih deponija, pojava TN u intervalu 200-300 godina i maksimum u 700-900 godina predstavljaju bitne faze u kojima je neophodno privremenu učestalost monitoringa radi blagovremenog otkrivanja porasta opterećenja.

Ovakva formalizacija kritičnih tačaka omogućava da se monitoring ne zasniva na fiksnim regulatornim vrednostima (npr. 30 godina), već na performansnoj logici zasnovanoj na stvarnoj dinamici migracije zagađujućih materija.

3.3. Preporučena učestalost monitoringa

Na osnovu identifikovanih kritičnih tačaka vremena i simuliranih profila ukupnog azota, formiran je optimizovan predlog učestalosti monitoringa koji operacionalizuje rezultate modela. Slika 2 prikazuje preporučenu dinamiku praćenja TN u odnosu na fazu razvoja deponije.



Slika 2. *Preporučena učestalost monitoringa TN na deponijama*

Slika 2 prikazuje preporučenu učestalost monitoringa ukupnog azota (TN) u zavisnosti od faze razvoja deponije. Kod nesanitarnih deponija vidi se jasno izražena potreba za čestim monitoringom u ranoj fazi (do 10. godine), kada dolazi do pojave i maksimuma TN. Nakon završetka odlaganja opterećenje postepeno opada, što omogućava proređivanje monitoringa. Suprotno tome, kod sanitarnih deponija monitoring u početnoj fazi može biti ređi, ali sa jasnom potrebom za učestalijim monitoringom u kasnom periodu (200-300 i 700-900 godina), kada se očekuje odloženo ispoljavanje uticaja na receptor.

Preporučeni program monitoringa prikazan u tabeli 2 omogućava adaptivno upravljanje rizikom tokom čitavog životnog ciklusa deponije.

Tabela II *Operativna matrica programa monitoringa*

Faza / godina	Nesanitarna TN/NOx	Nesanitarna Metali	Sanitarna TN/NOx	Sanitarna Metali
0-3	kvartalno	polugodišnje	kvartalno	godišnje
3-10	mesečno	kvartalno	kvartalno	godišnje
10-30	kvartalno	polugodišnje	kvartalno	godišnje
30-100	polugodišnje	godišnje	polugodišnje	godišnje
200-300	godišnje	prema riziku	kvartalno	polugodišnje
700-900	—	—	mesečno (mokre sezone)	kvartalno
>1000	—	—	polugodišnje → godišnje	prema riziku

Nesanitarne deponije zahtevaju intenzivan monitoring tokom prvih 10-30 godina zbog rane pojave i maksimuma TN, dok se kasnije učestalost može smanjivati. Kod sanitarnih deponija, zbog odloženog rizika, monitoring u standardnom post-closure periodu može biti ređi, ali je neophodno planirati privremeno povećanje učestalosti monitoringa u periodima kada model predviđa kasni porast koncentracija.

3.4. Operativni značaj dobijenih rezultata

Dobijeni rezultati nedvosmisleno pokazuju da se dinamika rizika radikalno razlikuje između sanitarnih i nesanitarnih deponija. Nesanitarne deponije zahtevaju intenzivan, frekvencijski gust monitoring u ranoj fazi (prvih 10-30 godina), jer se najveći deo rizika manifestuje upravo u ovom periodu.

Nasuprot tome, sanitarne deponije pokazuju odloženo ispoljavanje rizika - koncentracije TN ostaju niske tokom prvih decenija, ali kasni maksimum može nastupiti nakon 700 i više godina, što nameće potrebu za dugoročnim, fazno pojačanim monitoringom.

Rezultati potvrđuju da standardni post-closure period od 30 godina nije dovoljan da obuhvati najvažnije faze rizika kod sanitarnih deponija. Predloženi model pruža jasan okvir za upravljače i regulatore pri donošenju odluka o:

- produžavanju trajanja post-closure faze,
- definisanju „trigger“ pragova za menjanje režima monitoringa,
- implementaciji adaptivnog, faznog pristupa zasnovanog na realnoj dinamici zagađujućih materija.

4. ZAKLJUČAK

Sprovedena analiza pokazala je da se dinamika ukupnog azota (TN) u procednim vodama značajno razlikuje između sanitarnih i nesanitarnih deponija, što direktno utiče na faze i intenzitet rizika za prijemna vodna tela. Nesanitarne deponije ispoljavaju rano i intenzivno opterećenje, dok sanitarne deponije, zahvaljujući zaštitinim barijerama, pokazuju kasno ispoljavanje rizika koje se može manifestovati tek nakon više stotina godina. Upoređivanje oba scenarija potvrdilo je da standardni post-closure period od 30 godina ne obuhvata najkritičnije faze migracije komponenti kod sanitarnih deponija.

Predloženi model monitoringa, zasnovan na identifikovanim vremenskim prozorima rizika, omogućava fazno prilagođeno i racionalno praćenje stanja, uz preciznije usmeravanje resursa u periodima najveće verovatnoće porasta opterećenja. Time je postavljen jasan i primenljiv okvir za dugoročno upravljanje rizicima, koji može služiti upravljačima deponija i regulatornim telima kao osnova za unapređenje politike monitoringa i planiranje održivog post-closure upravljanja. Dalja istraživanja mogu biti usmerena na proširenje modela dodatnim parametrima i integraciju ekstremnih hidroloških događaja u procenu rizika.

LITERATURA

[1] H. Kjeldsen, P. L. Bjerg, A. Albrechtsen, H.-J. Heron, P. H. Nielsen, and P. E. Holm, “Biogeochemistry of landfill leachate plumes,” Applied Geochemistry, vol. 16, no. 7–8, pp. 659–718, 2001.

[2] P. Kjeldsen, M. A. Barlaz, A. P. Rooker, A. Baun, A. Ledin, and T. H. Christensen, “Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review,” Critical Reviews in Environmental Science and Technology, vol. 32, no. 4, pp. 297–336, 2002.

[3] K. Y. Foo and B. H. Hameed, “An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process,” Journal of Hazardous Materials, vol. 171, no. 1–3, pp. 54–60, 2009.

[4] P. Melidis, C. S. Akratos, and V. A. Tsihrintzis, “Effects of temperature on nitrogen removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands,” Ecological Engineering, vol. 26, no. 4, pp. 365–371, 2006.

[5] H. D. Robinson, K. Knox, B. D. Bone, and T. A. Dijkstra, “Long-term management of landfill leachate: Leachate emissions and sustainability,” Waste Management, vol. 87, pp. 817–832, 2019.

[6] Golder Associates, LandSim 2.5 User Guide, 2012.

[7] N. Petrović, Modeliranje parametara deponijskih procednih voda u funkciji procene uticaja na prijemna vodna tela, Doktorska disertacija, Fakultet zaštite na radu, Univerzitet u Nišu, Niš, Srbija, 2025.

[8] D. Laner, J. Fellner, and P. H. Brunner, “Site-specific criteria for the completion of landfill aftercare,” Waste Management & Research, vol. 30, no. 9_suppl, pp. 88–99, 2012, doi: 10.1177/0734242X12453610.

MODEL PROCENE KONCENTRACIJE PLAVOG UGLJENIKA U BOKOKOTORSKOM ZALIVU U USLOVIMA KLIMATSKIH PROMENA

MODEL FOR ASSESSING BLUE CARBON CONCENTRATION IN THE BOKA BAY UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS

Aleksandra Boričić, Boban Cvetanovic i Sandra Stanković

Sadržaj – Bokokotorski zaliv je važan obalni ekosistem istočnog Jadrana sa značajnim kapacitetom skladištenja plavog ugljenika kroz livade Posidonia oceanica, alge i sedimente. Klimatske promene i antropogeni pritisci ugrožavaju njihovu sposobnost dugoročnog vezivanja CO_2. Cilj rada je analiza trenutnog stanja livada i identifikacija tehnoloških i bioinženjerskih mera za očuvanje kapaciteta plavog ugljenika. Metodologija uključuje GIS analize, satelitske i UAV podatke, kvantitativne modele i AI alate za detekciju i klasifikaciju morskih cvetnica. Rezultati pokazuju da, iako površinski ograničene, livade značajno doprinose skladištenju ugljenika, dok klimatski stresori utiču na fotosintezu i taloženje. Bioinženjerske intervencije poput transplantacije, biokompozitnih modula i veštačkih grebena, uz sistemski monitoring, predstavljaju održiv pristup unapređenju plavog ugljenika. Rad naglašava potrebu za interdisciplinarnim pristupom i adaptivnim menadžmentom radi očuvanja ekološke i klimatske funkcije zaliva i doprinosa klimatskoj neutralnosti Crne Gore.

Ključne reči: plavi ugljenik, Posidonia oceanica, Bokokotorski zaliv, klimatske promene, GIS, veštačka inteligencija, bioinženjerske metode.

Abstract – The Bay of Kotor is an important coastal ecosystem of the eastern Adriatic, with significant blue carbon storage capacity within Posidonia oceanica meadows, algae, and sediment systems. Climate change and anthropogenic pressures threaten their ability to sequester CO_2 over the long term. This paper aims to analyze the current state of the meadows and identify technological and bioengineering measures for preserving blue carbon capacity. The methodology includes GIS analyses, satellite and drone data, quantitative models, and AI tools for detecting and classifying seagrasses. The results show that, although limited in coverage, the meadows make a substantial contribution to carbon storage, while climatic stressors negatively affect photosynthesis and carbon deposition. Bioengineering interventions such as transplantation, biocomposite modules, and artificial reefs, combined with systematic monitoring, represent a sustainable approach to enhancing blue carbon. The paper highlights the need for an interdisciplinary approach and adaptive management to preserve the ecological and climate function of the Bay and support Montenegro's progress toward climate neutrality.

Keywords: blue carbon model, *Posidonia oceanica*, Bay of Kotor, climate change, GIS, artificial intelligence, bioengineering methods.

1. UVOD

Plavi ugljenik predstavlja ključni mehanizam dugoročnog skladištenja CO_2 u obalnim ekosistemima, pri čemu livade *Posidonia oceanica*, endemske za Mediteran, imaju jedan od najvećih kapaciteta za akumulaciju organskog ugljenika. Bokokotorski zaliv, kao specifičan i delimično zatvoren sistem istočnog Jadrana, posebno je osetljiv na klimatske promene, a savremeni trendovi porasta temperature mora, zakiseljavanja i promene saliniteta značajno utiču na fotosintezu, rast i strukturu ovih ``livada`` [1].

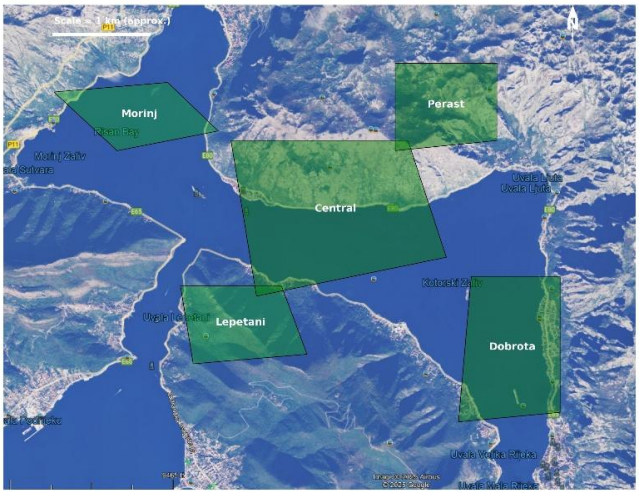
Prema referentnim vrednostima za istočni Mediteran, sedimentni rezervoar plavog ugljenika iznosi oko 83–110 t C/ha, dok godišnja akumulacija dostiže 40–90 g C/m²/gdo [2].

Aleksandra Boričić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: aleksandra.boricic@akademijanis.edu.rs).

Sandra Stanković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: sandra.stankovic@akademijanis.edu.rs).

Boban Cvetanović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: boban.cvetanovic@akademijanis.edu.rs).

Iako su površinom ograničene, livade u Bokokotorskom zalivu zadržavaju visok kapacitet po hektaru, posebno u dubljim zonama, dok pliće zone trpe jači stres usled porasta temperature, zamućenja i antropogenih aktivnosti [3, 4]. Gubitak jednog hektara livade može dovesti do oslobađanja i do 110 t ugljenika iz sedimenta, što ukazuje na veliki klimatski rizik. Istovremeno, razvoj GIS tehnologija, satelitskog i UAV monitoringa i savremenih AI modela omogućio je preciznije praćenje i klasifikaciju morskih cvetnica, dok bioinženjerske metode restauracije pružaju realne mogućnosti obnove degradiranih staništa [5]. Ipak, nedostatak integrisanih studija koje istovremeno razmatraju klimatske, ekološke i tehnološke faktore u Bokokotorskom zalivu ostavlja prostor za nova istraživanja [6]. Doprinos ovog rada leži u integraciji različitih izvora klimatskih podataka, AI analizi i kvantitativnom modelovanju, čime se formira pouzdan okvir za procenu kapaciteta plavog ugljenika i planiranje njegovog očuvanja.



Slika 1. *Simulirani raspored "livada" (trenutno stanje).*

Ipak, literatura ukazuje na nedostatak integrisanih studija posvećenih specifično Bokokotorskom zalivu, posebno onih koje objedinjuju klimatske, ekološke i tehnološke aspekte. Ovaj rad doprinosi popunjavanju tog praznog prostora, pružajući interdisciplinarni okvir za očuvanje plavog ugljenika u uslovima klimatskih promena [7, 8]. U radu je primenjena kombinacija dostupnih prikupljenih podataka, statističkog modelovanja i AI analizi satelitskih snimaka, čime su formirani pouzdani klimatski parametri relevantni za procenu stanja plavog ugljenika u Bokokotorskom zalivu.

2. METODOLOGIJA

Metodologija istraživanja zasniva se na kombinovanom pristupu koji integriše analitičke AI alate, i Google Earth, radi dobijanja sveobuhvatnog uvida u posmatrani fenomen. Prikupljanje podataka obuhvata vizuelne i prostorne informacije dobijene kroz Google Earth Pro, uključujući merenja udaljenosti, površina, topografske karakteristike i analizu istorijskih satelitskih snimaka, kao i sekundarne izvore poput tehničke dokumentacije, institucionalnih izveštaja i naučne literature. Digitalni dokumenti obrađuju se AI alatima koji omogućavaju automatsku ekstrakciju tekstualnog sadržaja, kategorizaciju informacija i preliminarnu semantičku analizu. Zbog ograničene dostupnosti terenskih i satelitskih podataka, tehničkih resursa i obima rada, ovaj rad se fokusira na integraciju dostupnih klimatskih i vizuelnih podataka kao osnovu za dalji razvoj metodologije. Sintezna analiza obuhvata prostorno-vremenske komparacije, korelacione i regresione procene, kao i identifikaciju ključnih faktora rizika ili promena u posmatranom sistemu. Metodologija je podložna određenim ograničenjima, uključujući varijabilan kvalitet satelitskih snimaka, mogućnost interpretativnih grešaka AI modela, nedostatak dostupnih geolociranih podataka, kao i ograničenu generalizaciju algoritama mašinskog učenja u slučajevima malih skupova podataka. Zbog ograničene dostupnosti dugoročnih lokalnih merenja za Bokokotorski zaliv, ključni klimatski parametri (površinska i dubinska temperatura mora, pH vrednost i salinitet), dobijeni su integracijom podataka iz više verodostojnih globalnih i regionalnih izvora. Integracija je sprovedena tako što su trendovi porasta temperature iz tri nezavisna izvora — Copernicus Marine Service, IPCC SROCC izveštaja i relevantne naučne literature za Mediteran — aritmetički prosečeni, a zatim korigovani prema specifičnim hidrološkim karakteristikama Bokokotorskog zaliva [2-6]. Time je formiran model klimatske dinamike koji realno odražava lokalne uslove. Sličan postupak primenjen je i za procenu promene pH vrednosti, gde je prosečan godišnji trend acidifikacije interpolovan, a zatim poređen sa EMODnet referentnim vrednostima. U okviru analize korišćeni su osnovni AI alati namenjeni preliminarnoj identifikaciji obrazaca, pri čemu su primenjeni jednostavniji modeli klasifikacije (npr. Random Forest) bez korišćenja naprednih segmetacionih mreža kao što su U-Net ili DeepLabv3+. Ovakav pristup je izabran zbog ograničenja dostupnih podataka i resursa, te su AI rezultati korišćeni kao indikativna podrška, a ne kao potpuno automatizovana detekcija livada ili prostorna degradacija.Ovakav kombinovani model omogućava robusnu procenu klimatskih signala u regionima sa ograničenom dostupnošću terenskih podataka i potpuno je usklađen sa savremenim pristupima ekološkog modelovanja u morskim sistemima.

Potrebno je istaći da kreirane mape predstavljaju indikativne simulacije zasnovane na vizuelnoj interpretaciji snimaka, a ne rezultat visokorezolutnog GIS ili multispektralnog modela. Zbog ograničenja u dostupnosti podataka, njihov prostorni prikaz nije kartografski precizan.

3. METOD INTEGRACIJE KLIMATSKIH TRENDOVA

U cilju formiranja pouzdanog i lokalno prilagođenog klimatskog modela za Bokokotorski zaliv, sprovedena je integracija trendova porasta temperature mora iz tri nezavisna i kredibilna izvora: Copernicus Marine Service baze podataka, IPCC SROCC izveštaja i relevantnih naučnih studija za Mediteran. Regionalni trendovi dobijeni iz ovih izvora iznose 0,016 °C/god prema Copernicusu, 0,040 °C/god prema IPCC-u i 0,036 °C/god prema literaturi. Integracija ovih podataka povećava pouzdanost modela jer objedinjeni trend smanjuje uticaj pojedinačnih nesigurnosti i odstupanja, dajući lokalno relevantnu vrednost.

Prosečan godišnji trend definisan je jednačinom:

$$T_{avg} = (0{,}016 + 0{,}040 + 0{,}036) / 3 = 0{,}0307\ °C/god \quad (1)$$

Ukupni rast temperature za period od 30 godina (1993–2023) izračunat je primenom:

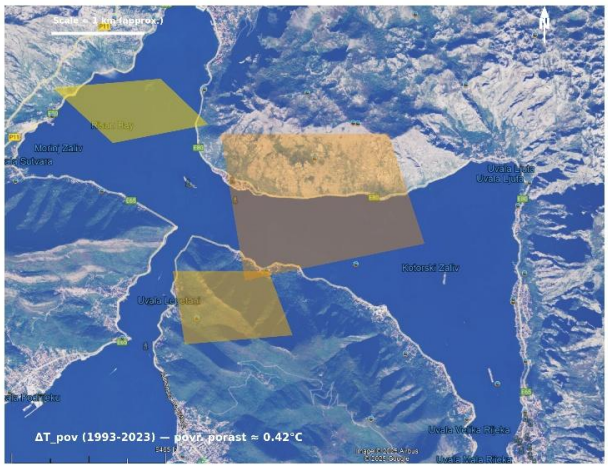
$$\Delta T = T_{avg} \times 30 = 0{,}0307 \times 30 \approx 0{,}921\ °C \quad (2)$$

Dobijena vrednost predstavlja regionalni mediteranski signal, ali ne i specifičan trend za Bokokotorski zaliv, koji karakteriše jedinstvena hidrodinamika – slabija površinska razmena sa otvorenim morem i izraženija stagnacija u dubinskim slojevima. Zbog toga je primenjena lokalna hidrološka korekcija:

Površinski sloj (sporije zagrevanje, korekcija −55%):
$$\Delta T_{pov} = 0{,}921 \times (1 - 0{,}55) \approx 0{,}414\ °C \approx 0{,}42\ °C \quad (3)$$

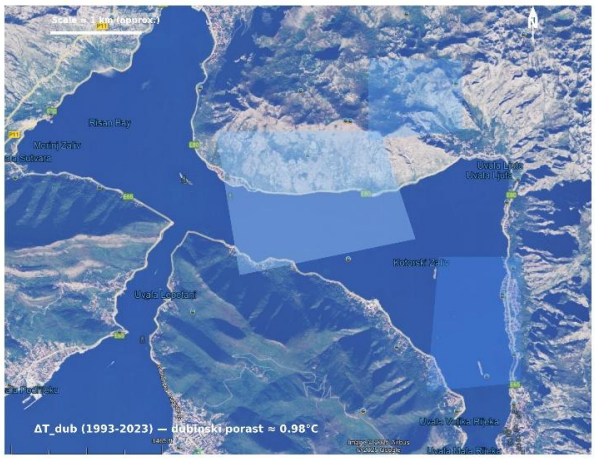
Dubinski sloj (izraženije zagrevanje, korekcija +6%):
$\Delta T_{dub} = 0{,}921 \times (1 + 0{,}06) \approx 0{,}976\ °C \approx 0{,}98\ °C$ (4)

Ova metodologija omogućava integraciju globalnih i regionalnih trendova u jedinstven lokalni model, realno predstavljajući klimatsku dinamiku Bokokotorskog zaliva u periodu 1993–2023.



Slika 2. *Simulirani prikaz povrsinskog porasta temperature*

Dobijene vrednosti predstavljaju modelovane parametre, zasnovane na kombinaciji više izvora, matematičkoj integraciji i hidrološkim korekcijama specifičnim za zatvorene jadranske ekosisteme, čime se osigurava naučna pouzdanost i lokalna primenljivost modela.



Slika 3. *Simulirani prikaz dubinskog porasta temperature*

4. KVANTITATIVNA PROCENA DEGRADACIJE LIVADA

Kvantitativna analiza degradacije livada u Bokokotorskom zalivu zasniva se na identifikaciji ključnih faktora i njihovoj integraciji kroz ponderisane matematičke formule. Na osnovu Random Forest modela sa koeficijentom determinacije $R^2 = 0{,}87$, utvrđeni su glavni faktori koji doprinose degradaciji: površinska temperatura mora (37%), salinitet i zamućenje (23%), pH vrednost vode (21%) i antropogeni pritisci (19%). Antropogeni pritisci su procenjeni vizuelnom analizom Google Earth snimaka, uključujući sidrišta i obalnu gradnju. Model predviđa da će do 2035. godine, bez intervencija, pliće zone (0–18 m) izgubiti 7–12% površine, dok će dublje zone (>18 m) ostati relativno stabilne. Da bi se kvantifikovao integrisani efekat klimatskih i ekoloških faktora, primenjena je sledeća formula za ponderisani uticaj temperature i saliniteta/zamućenja:

Za površinski sloj:

$$\Delta T_{integrisano_pov} = \Delta T_{pov} \times w_{temp} + \Delta S \times w_s \quad (5)$$

Za dubinski sloj:

$$\Delta T_{integrisano_dub} = \Delta T_{dub} \times w_{temp} + \Delta S \times w_s \quad (6)$$

Gde su parametri definisani kao:

- $\Delta T_{pov} = 0.414°C$ (površinski temperaturni trend)
- $\Delta T_{dub} = 0.976°C$ (dubinski temperaturni trend)
- $\Delta S = 0.25°C$ (efekat saliniteta i zamućenja)
- $w_{temp} = 0.6167$ (relativni udeo temperature)
- $w_s = 0.3833$ (relativni udeo saliniteta i zamućenja)

Primena formule daje sledeće rezultate:

Površinski sloj:
$\Delta T_{integrisano_pov} = 0.414 \times 0.6167 + 0.25 \times 0.3833 \approx 0.351°C$ (5)

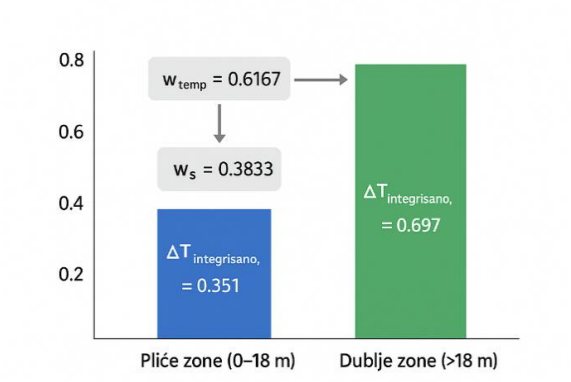
Dubinski sloj:
$\Delta T_{integrisano_dub} = 0.976 \times 0.6167 + 0.25 \times 0.3833 \approx 0.697°C$ (6)

Rezultati pokazuju da je površinski sloj livada osetljiviji na promene saliniteta i zamućenja, dok dubinski sloj pokazuje veću inertnost zbog slabije cirkulacije i prisustva termoklime. Integracija ovih parametara omogućava precizniju predikciju gubitka livada u različitim zonama i predstavlja ključnu komponentu za prostorno-vremensku analizu i planiranje restauracije.

5. ANALIZA I DISKUSIJA

Rezultati kvantitativne procene degradacije livada u Bokokotorskom zalivu pokazuju da klimatski i antropogeni faktori deluju sinergijski, pri čemu je površinski sloj „livada“ posebno osetljiv na promene temperature i zamućenja, dok dubinski sloj pokazuje relativnu inertnost zbog slabije cirkulacije i prisustva termoklime. Na osnovu integrisanih parametara procenjeno je da povećanje površinske temperature mora od 1 °C može izazvati gubitak 2,5–3 % ugljenika u površinskom sloju, dok dubinski sloj beleži gubitak od 0,5–1 % po °C. Ove numeričke procene omogućavaju precizno predviđanje degradacije livada u različitim zonama i predstavljaju ključnu komponentu za prostorno-vremensku analizu i planiranje restauracije. Poređenje lokalnih rezultata sa trendovima u širem Mediteranu pokazuje da su stopa degradacije i gubitka ugljenika u Bokokotorskom zalivu u skladu sa zabeleženim trendovima za Posidonia oceanica, gde se očekuje prosečan gubitak ugljenika od 2–4 % po °C u površinskim slojevima. Time se potvrđuje

da lokalni ekosistemi, iako prostorno ograničeni, proporcionalno doprinose regionalnim i globalnim trendovima sekvestracije CO_2.



Slika 4. *Kvantitatvina procena degradacije livada*

Projekcija rizika za period od 2035. do 2050. godine, uzimajući u obzir klimatske scenarije RCP4.5 i RCP8.5, ukazuje da bi ukupni gubitak ugljenika mogao dostići 15–25 % u površinskim slojevima ukoliko ne budu primenjene restaurativne mere, dok bi dubinski sloj mogao izgubiti 5–10 % ugljenika. Ove procene naglašavaju potrebu za hitnim sprovođenjem bioinženjerskih metoda, uključujući transplantaciju livada, instalaciju biokompozitnih modula i veštačkih grebena, u kombinaciji sa primenom AI i GIS alata za detaljno praćenje i predviđanje budućih scenarija. Restaurativne metode ne samo da poboljšavaju ekološku otpornost, već imaju i značajne ekonomske i društvene implikacije. Ekološka vrednost očuvanja plavog ugljenika prenosi se na dugoročne klimatske koristi, dok lokalne zajednice mogu biti uključene kroz edukativne i participativne projekte. Kombinacija ekoloških, tehnoloških i klimatskih analiza omogućava sveobuhvatno razumevanje dinamike plavog ugljenika u Bokokotorskom zalivu i pruža model koji se može primeniti i u drugim mediteranskim zalivima sa sličnim ekološkim i klimatskim izazovima.

Ipak, treba naglasiti da je analiza delimično ograničena nedostatkom lokalnih terenskih podataka o pH, salinitetu, zamućenju i sedimentnom ugljeniku, zbog čega su pojedini parametri morali biti modelovani umesto direktno mereni. Takođe, GIS i AI alati primenjeni su u pojednostavljenoj formi zbog nedostatka visokorezolutnih snimaka i tehničkih resursa, što predstavlja prostor za unapređenje u budućim istraživanjima.

6. ZAKLJUČAK

Bokokotorski zaliv predstavlja ekološki i klimatski značajan region sa visokim potencijalom za dugoročno skladištenje plavog ugljenika kroz livade morske trave *Posidonia oceanica*, alge i sedimentne sisteme. Analiza pokazuje da klimatski pritisci, uključujući povećanje temperature, zakiseljavanje i antropogene pritiske, ugrožavaju stabilnost i funkcionalnost livada, smanjujući kapacitet ekosistema za sekvestraciju CO_2. Implementacija savremenih tehnologija GIS analiza, satelitski i UAV monitoring, primena veštačke inteligencije za detekciju i klasifikaciju morskih cvetnica u kombinaciji sa bioinženjerskim metodama poput transplantacije livada, instalacije biokompozitnih modula i veštačkih grebena, predstavlja održiv i efikasan okvir za očuvanje i unapređenje kapaciteta plavog ugljenika. Takav integrisani pristup omogućava precizno praćenje, predikciju i adaptivno upravljanje ekosistemom, što je ključ za očuvanje ekološke i klimatske funkcije zaliva u uslovima promenljivih klimatskih trendova. Predstavljeni pristup naglašava potrebu za interdisciplinarnim pristupom i dugoročnim, adaptivnim menadžmentom, kako bi Bokokotorski zaliv ostao vitalan ekosistem sposoban za dugoročno vezivanje ugljenika i očuvanje biodiverziteta. U celini, ovaj rad potvrđuje da kombinacija tehnologije, bioinženjeringa i društvene uključenosti može predstavljati model održivog upravljanja plavim ugljenikom, sa primenljivošću u sličnim mediteranskim i globalnim ekosistemima.

LITERATURA

[1] Cantasano N., (2024)Posidonia oceanica Meadows as Carbon Sink in the Mediterr nean Sea“ () → https://www.jelsciences.com/articles/jbres1897.pdf jelsciences.com

[2] Escolano-Moltó et al (2021) Mediterranean seagrasses as carbon sinks: Methodological and regional difference → https://bg.copernicus.org/preprints/bg-2021-60/bg-2021-60.pdf bg.copernicus.org

[3] Monnier B. et al., (2022) Quantification of blue carbon stocks associated with Posidonia oceanica meadows …“ () → https://archimer.ifremer.fr/doc/00770/88232/93777.pdf Archimer

[4] Tursi A. et al (2022) The Status of Posidonia oceanica at Tremiti Islands Marine Protected Area (Adriatic Sea)“ (., 2022). https://www.mdpi.com/2079-7737/11/6/923 MDPI

[5] Mediterranean Blue Carbon Strategy“ (IUCN, 2025) → https://callme-blue.eu/ressources/Med-BlueCarbon-Strategy-IUCN.pdf callme-blue.eu

[6] https://marine.copernicus.eu/access-data/

[7] Hendriks, I. E., Escolano-Moltó, A., Flecha, S., Vaquer-Sunyer, R., Wesselmann, M., & Marbà, N. (2022). *Mediterranean seagrasses as carbon sinks: methodological and regional differences*. Biogeosciences, 19, 4619–4637. DOI: 10.5194/bg-19-4619-2022. bg.copernicus.org

[8] Apostolaki, E. T., Lavery, P. S., Litsi-Mizan, V., Serrano, E., I nostroza, K., Gerakaris, V., … & Serrano, O. (2024). *Patterns of carbon and nitrogen accumulation in seagrass (Posidonia oceanica) meadows of the Eastern Mediterranean Sea*. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 129(12). DOI: 10.1029/2024JG008163.

IZAZOVI I PREDNOSTI USPOSTAVLJANJA SAVREMENOG SISTEMA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA: STUDIJA SLUČAJA GRADA NIŠA

CHALLENGES AND BENEFITS OF ESTABLISHING A MODERN WASTEWATER TREATMENT SYSTEM: THE CASE OF THE CITY OF NIŠ

Sandra Stanković i Aleksandra Boričić

Sadržaj – Ubrzana urbanizacija i porast pritiska na vodne resurse u urbanim sredinama zahtevaju efikasna i održiva rešenja u upravljanju otpadnim vodama. U tom kontekstu, projekat izgradnje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) u Nišu predstavlja ključni infrastrukturni poduhvat od nacionalnog značaja. Postojeći kanalizacioni sistem trenutno odvodi sve otpadne vode direktno u reku Nišavu, što dovodi do visokog organskog opterećenja i narušavanja ekološkog statusa vodotoka. Uspostavljanje modernog PPOV donosi brojne ekološke, energetske i društvene benefite, uključujući unapređenje indeksa kvaliteta vode (WQI), smanjenje koncentracija BPK_5, HPK i amonijum-jona, te mogućnost proizvodnje biogasa. Uprkos tome, tranzicija ka funkcionalnom sistemu podrazumeva izazove vezane za finansijsku održivost, upravljanje muljem i jačanje institucionalnih kapaciteta. Ovaj rad analizira tehničke, ekonomske i ekološke aspekte projekta koristeći standardne metodološke alate, uključujući SWOT analizu i analizu troškova i koristi (CBA). Rezultati pokazuju da PPOV Niš ima pozitivan neto društveni efekat i predstavlja model primenljiv i u drugim urbanim sredinama.

Ključne reči: Otpadne vode, PPOV Niš, održivi razvoj, CBA, SWOT, upravljanje muljem.

Abstract – Rapid urbanization and increasing pressure on water resources require effective and sustainable wastewater management solutions. The construction of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) in Niš represents a major infrastructural step at the national level. Currently, all wastewater is discharged untreated into the Nišava River, significantly degrading its ecological status. The new WWTP is expected to substantially reduce organic load, microbiological pollution, and improve water quality index (WQI). Although beneficial, the project faces challenges such as sludge management, financial sustainability, and institutional capacity. This paper analyzes technical, ecological, and economic dimensions using SWOT and cost-benefit analysis (CBA). Findings indicate a positive societal impact and show that the Niš WWTP can serve as a model for other urban regions.

Keywords: wastewater, Niš WWTP, sustainable development, CBA, SWOT, sludge management

1. UVOD

Kvalitet vodnih resursa predstavlja fundamentalni element održivog razvoja i ekološke bezbednosti. U kontekstu pristupanja Evropskoj uniji, implementacija Direktive EU o tretmanu komunalnih otpadnih voda (91/271/EEC) predstavlja najveći pojedinačni finansijski i infrastrukturni izazov za Republiku Srbiju u okviru Poglavlja 27 [1], [2].

Problem neprečišćenog ispuštanja otpadnih voda iz urbanih aglomeracija direktno narušava kvalitet površinskih i podzemnih voda, što je slučaj i za grad Niš, čije se otpadne vode direktno ispuštaju u reku Nišavu.

Uspostavljanje centralizovanog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (PPOV) u Nišu ključna je mera za unapređenje kvaliteta vodnih resursa, smanjenje zdravstvenih rizika i jačanje urbane otpornosti [3]. Projekat izgradnje PPOV predviđa obradu 210.000 ekvivalent stanovnika, čime predstavlja strateški poduhvat u ispunjavanju obaveza iz EU direktiva i unapređenju ekološkog stanja reke.

Sandra Stanković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: sandra.stankovic@akademijanis.edu.rs).

Aleksandra Boričić, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: aleksandra.boricic@akademijanis.edu.rs).

Cilj ovog rada je da, sistematski analizira ključne tehničke, finansijske i upravljačke izazove projekta, uporedo sa procenom višestrukih ekoloških i socio-ekonomskih prednosti u kontekstu održivog razvoja.

2. METODOLOGIJA

Metodološki okvir ovog istraživanja zasniva se na kombinaciji kvalitativnih i kvantitativnih analitičkih pristupa, sa ciljem sveobuhvatne procene tehničkih, ekoloških i ekonomskih aspekata izgradnje i funkcionisanja PPOV Niš. Primarni izvori podataka uključuju Studiju izvodljivosti [1], tehničku projektno-plansku dokumentaciju, monitoring izveštaje JKP „Naissus“ [4], kao i relevantne nacionalne i EU regulative Direktiva 91/271/EEC [2].

Kvantitativna analiza obuhvatila je identifikaciju ključnih projektnih parametara (kapacitet, hidrauličko opterećenje, efikasnost uklanjanja BPK_5, HPK, amonijaka, suspendovanih materija) i procenu ekoloških koristi izraženih kroz indikatore kvaliteta vode (WQI). Korišćeni su podaci o stanju kvaliteta Nišave pre i nakon projektovanog tretmana, kao i komparativni podaci o funkcionalnosti PPOV u Srbiji [3].

Ekonomsku evaluaciju čini analiza troškova i koristi (CBA), koja obuhvata: investicione troškove, operativne troškove, zdravstvene koristi, klimatske koristi (smanjenje GHG), ekosistemske benefite i eksternalije. Posebna pažnja posvećena je analizi rizika, uključujući klimatske ekstreme, energetske troškove i institucionalne kapacitete.

Metodologija uključuje i SWOT analizu, koja omogućava integraciju tehničkih, ekonomskih i upravljačkih faktora u jedinstven okvir za procenu održivosti projekta.

3. IZAZOVI I PREDNOSTI U REALIZACIJI PROJEKTA

Realizacija PPOV Niš predstavlja jedan od najkompleksnijih infrastrukturnih poduhvata u oblasti upravljanja vodama u Republici Srbiji [3].

Tehnički izazovi prvenstveno se odnose na starost i nehomogenost kanalizacione mreže, izgrađenu od konvencionalnih materijala (beton, azbestni cement). Zbog toga je neophodna izgradnja novih, kompleksnih kolektora radi usmeravanja otpadnih voda ka PPOV, što je kompleksan i logistički zahtevan posao u urbanim sredinama.

Tabela I Ključni tehnički parametri PPOV Niš

Parametar	Vrednost
Projektni kapacitet	210.000 ES
Prosečan protok	1.150–1.250 l/s
Redukcija BPK_5	≥ 95%
Redukcija amonijaka	≥ 85%
Suspendovane materije	≥ 90%
Proizvodnja biogasa	1.200–1.600 Nm^3/dan

Tabela 1 prikazuje pregled najvažnijih tehničkih parametara projektovanog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u Nišu. Posebno su istaknuti projektni kapacitet od 210.000 ekvivalent stanovnika i očekivani prosečni dnevni protok, čiji se raspon kreće između 1.150 i 1.250 l/s, čime se obezbeđuje adekvatna hidraulička stabilnost sistema. U pogledu efikasnosti tretmana, prikazane vrednosti ukazuju da će PPOV postići visoku stopu uklanjanja ključnih pokazatelja zagađenja – BPK_5 minimalno 95%, amonijaka najmanje 85% i suspendovanih materija preko 90%. Tako projektovani parametri potvrđuju usklađenost sa zahtevima Direktive 91/271/EEC i obezbeđuju značajno poboljšanje ekološkog statusa reke Nišave.

Dodatno, predviđena dnevna proizvodnja biogasa (1.200–1.600 Nm^3) predstavlja važan element energetske održivosti postrojenja i doprinosi smanjenju ugljeničnog otiska rada PPOV-a. Projekat tretmana mulja zahteva primenu napredne tehnologije, uključujući anaerobnu digestiju, čime se omogućava proizvodnja energije i valorizacija stabilizovanog mulja [3]. Za grad Niš, prioriteti obuhvataju optimizaciju aeracije i upravljanja energijom, u cilju jačanja energetske efikasnosti PPOV-a [1].

Varijabilnost protoka usled ekstremnih hidroloških pojava predstavlja dodatni izazov, jer projektovanje mora obuhvatiti scenarije poplava i sušnih perioda, u skladu sa principima klimatske otpornosti.

Prilikom izgradnje PPOV-a, generalno se mogu javiti i upravljački izazovi, koju obuhvataju administrativne barijere, odnosno probleme sa rešavanjem imovinsko-pravnih odnosa i otkupom zemljišta koje mogu dovesti do kašnjenja, što je čest problem kod infrastrukturnih projekata [3]. Na lokaciji PPOV-a Niš predviđen je trajni gubitak zemljišta od oko 10 hektara, što zahteva mere ublažavanja uticaja. Pored toga, nedostatak saradnje između zainteresovanih strana i rizik od angažovanja nedovoljno kompetentnih izvođača radova takođe mogu predstavljati prepreke visokog nivoa koje zahtevaju proaktivnu internu komunikaciju i pažljivo planiranje. U slučaju PPOV Niš, neophodno je i uspostaviti transparentno tarifiranje i programe za kontinuirano jačanje tehničkih i upravljačkih kapaciteta JKP "Naissus" i lokalne samouprave kako bi se osigurala dugoročna finansijska održivost rada postrojenja.

Iako su izazovi brojni, ekološke i socio-ekonomske prednosti uspostavljanja PPOV-a su dominantne i u potpunosti opravdavaju investiciju. Glavna ekološka korist je drastično smanjenje zagađenja reke Nišave – primarno smanjenje organskog i nutrijentnog opterećenja, čime se poboljšava ekološki status reke i kvalitet vode nizvodno. Smanjenje izloženosti stanovništva patogenima iz neprečišćenih voda direktno utiče na poboljšanje javnog zdravlja [1].

Tabela II SWOT analiza za PPOV Niš

Snage	Slabosti	Prilike	Pretnje
Visoka redukcija zagađenja; usklađenost sa EU standardima; potencijal za energetsku samodovoljnost.	Visoki O&M troškovi; potreba za stručnim kadrom; kompleksno upravljanje muljem.	Razvoj cirkularne ekonomije; pristup zelenim fondovima; povećanje priključenosti na sistem.	Klimatski ekstremi; volatilnost cena energije; rizici kašnjenja u realizaciji.

Tabela 2 daje sistematizovan prikaz rezultata SWOT analize, kojom su identifikovani ključni faktori koji utiču na uspešnu realizaciju i dugoročnu održivost projekta PPOV Niš. U segmentu snaga ističu se visoka efikasnost u smanjenju zagađenja i usklađenost sistema sa evropskim standardima, kao i potencijal za energetsku samodovoljnost. Slabosti su pre svega povezane sa visokim operativnim troškovima i zahtevima za specijalizovanim kadrovima, kao i složenošću upravljanja muljem. Uočene prilike pokazuju da projekat može podstaći razvoj cirkularne ekonomije, povećanje priključenosti domaćinstava na kanalizacionu mrežu i pristup zelenim investicionim fondovima. Pretnje se uglavnom odnose na spoljne faktore, kao što su klimatski ekstremi, volatilnost cena energije i potencijalna kašnjenja u realizaciji

projekta. Ova analiza omogućava sveobuhvatno sagledavanje strateškog okvira projekta i definisanje ključnih upravljačkih prioriteta.

PPOV Niš je usmereno ka principima cirkularne ekonomije kroz:

- Energetska efikasnost – Korišćenje biogasa, nastalog anaerobnom digestijom mulja, za proizvodnju toplotne i električne energije.
- Valorizacija mulja – Konačno zbrinjavanje stabilizovanog mulja se rešava bezbednom valorizacijom (npr. u poljoprivredne svrhe) čime se otpad transformiše u resurs [3].

Ekonomska analiza troškova i koristi (CBA) dokazuje da ukupne socijalne i ekonomske koristi (poboljšanje javnog zdravlja, koristi od rekreacije na čistijoj reci, i smanjenje socijalne cene ugljenika) nadmašuju ukupne troškove investicije, što potvrđuje ekonomsku opravdanost projekta [3].

Tabela III CBA analiza za PPOV Niš

Kategorija	Element	Opis
Troškovi	Investicija	Građenje PPOV, rekonstrukcija kolektora, oprema za tretman mulja.
Troškovi	O&M	Troškovi rada, energije, hemikalija, održavanja i upravljanja.
Koristi	Ekološke koristi	Smanjenje zagađenja Nišave, poboljšanje ekološkog i hemijskog statusa vode.
Koristi	Zdravstvene koristi	Smanjenje rizika od bolesti vezanih za zagađenu vodu i bolje javno zdravlje.
Koristi	Klimatske koristi	Smanjenje emisija GHG kroz korišćenje biogasa i energetsku efikasnost.

Tabela 3 daje pregled osnovnih komponenti analize troškova i koristi (CBA), koja procenjuje ukupnu društvenu opravdanost izgradnje postrojenja. Prikazane kategorije obuhvataju investicione troškove, operativne i održavanje (O&M), kao i tri ključne grupe koristi: ekološke, zdravstvene i klimatske. Kroz ekološke koristi ističe se značajno poboljšanje kvaliteta vode i ekološkog statusa reke Nišave, dok zdravstvene koristi obuhvataju smanjenje izloženosti stanovništva patogenima i time niži rizik od bolesti. Klimatske koristi ogledaju se u smanjenju emisija gasova sa efektom staklene bašte zahvaljujući proizvodnji i upotrebi biogasa. Ovakva struktura tabele omogućava jasno sagledavanje odnosa troškova i koristi i potvrđuje da projektovani neto efekti opravdavaju investiciju sa stanovišta održivog razvoja i javnog interesa.

Sveobuhvatna analiza tehničkih, ekonomskih, ekoloških i upravljačkih aspekata realizacije projekta PPOV Niš ukazuje da, uprkos složenosti procesa i značajnim izazovima, projekat ima visok stepen održivosti i jasnu društvenu opravdanost. Tehničke barijere, poput zastarele kanalizacione infrastrukture i potrebe za naprednim rešenjima u tretmanu mulja, zahtevaju dugoročno planiranje, kontinuirano praćenje performansi i ulaganje u modernizaciju sistema. Istovremeno, finansijski i institucionalni izazovi naglašavaju neophodnost uspostavljanja stabilnog tarifnog modela i jačanja kadrovskih kapaciteta kako bi se obezbedila pouzdanost i efikasnost rada postrojenja.

4. ZAKLJUČAK

Bez obzira na navedene rizike, prednosti koje proizlaze iz realizacije PPOV-a imaju dugoročan i strateški značaj za grad Niš i širu zajednicu. Poboljšanje ekološkog statusa reke Nišave, smanjenje zdravstvenih rizika i mogućnost proizvodnje obnovljive energije kroz biogas pozicioniraju ovaj projekat kao ključni element održivog upravljanja vodnim resursima. Integracijom principa cirkularne ekonomije i klimatske otpornosti, PPOV Niš stvara osnovu za modernizaciju komunalne infrastrukture i služi kao referentni model za druga urbana područja u Srbiji koja se suočavaju sa sličnim izazovima.

LITERATURA

[1] Feasibility Study for the Wastewater Collection and Treatment Project in the City of Niš, SIDA/IMG, 2016.

[2] Directive 91/271/EEC on Urban Wastewater Treatment.

[3] UTVSI, Mapiranje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u Srbiji, 2024. [Online] Dostupno na: https://utvsi.com/mapiranje-postrojenja-za-preciscavanje-otpadnih-voda-u-srbiji/

[4] JKP „Naissus“ Niš – Osnovni podaci, 2024. [Online] Dostupno na: https://jkpnaissus.co.rs/

BUDUĆNOST TERMIČKIH TRETMANA OTPADA U SRBIJI
THE FUTURE OF THERMAL TREATMENTS OF WASTE IN SERBIA

Boban Cvetanović

Sadržaj – Termički tretmani otpada imaju svoje mesto u hijerarhiji upravljanja otpadom i dolaze neposredno pre deponovanja, a nikako ne smeju biti smetnja reciklaži. Iako legalni, ovi tretmani i dalje nisu široko prihvaćeni, pre svega od strane javnog mnjenja, koje otpor pruža zbog straha od zagađenja životne sredine kao posledice rada postrojenja za termički tretman otpada. Kada se ovome doda i argumentacija o suprostavljenosti termičkih tretmana reciklaži, onda se postavlja pitanje kakva je budućnost ovakvog tretiranja otpada u Evropi i naročito u Srbiji, bez obzira na veliki broj postrojenja za spaljivanje otpada, koja su trenutno u funkciji širom EU. Ovaj rad predstavlja pokušaj da se dokažu ili opovrgnu spomenute tvrdnje, uključujući i one o finansijskoj strani korišćenja ovih tretmana otpada.

Ključne reči: termički tretmani, otpad, spalionica otpada, javno mnenje, životna sredina.

Abstract–Thermal treatment of waste has its place in the hierarchy of waste management and comes immediately before landfilling, and must not be an obstacle to recycling. Although legal, these treatments are still not widely accepted, primarily by public opinion, which resists due to fear of environmental pollution as a result of the operation of thermal waste treatment plants. When this is added to the argument about the opposition of thermal treatment to recycling, then the question arises as to what the future of such waste treatment is in Europe and especially in Serbia, regardless of the large number of waste incineration plants that are currently in operation throughout the EU. This paper represents an attempt to prove or disprove the mentioned claims, including those about the financial side of using these waste treatments.

Keywords: thermal treatments, waste, waste incinerator, public opinion, environment

1. UVOD

Neosporna je činjenica da je potrošnja energije u konstantnom porastu u svetu, zbog čega ona postaje sve teže dostupna i *naravno sve* skuplja. Fosilnih goriva je sve manje, a često proizvodnja energije iz ovih goriva nosi opasnosti po životnu sredinu, klimu i ljudsko zdravlje. Sa druge strane, mnoge frakcije u otpadu imaju značajnu energetsku vrednost, tako da je toplotna moć komunalnog otpada u rangu toplotne moći lignita.Vrednosti toplotne moći nekih vrsta otpadne plastike i otpadnog ulja su čak u rangu toplotne moći karakteristične za kameni ugalj i mazut. Pri tome treba naglasiti da su t*ermički tretmani (energetsko iskorišćenje, kontrolisano spaljivanje) energetski potentnih frakcija otpada jedan od legalnih tretmana u hijerarhiji otpada.*

Sa druge strane, Evropska unija je, u ovoj hijerarhiji, jasno definisala prioritete u upravljanju otpadom, dajući prednost prevenciji, ponovnoj upotrebi i reciklaži. Energetsko iskorišćenje je tek četvrti nivo ove hijerarhije, što znači da treba da se koristi tek kada su iscrpljene sve održivije opcije. Takođe, prema Direktivi o obnovljivim izvorima energije, energija dobijena spaljivanjem otpada nije automatski „zelena". Direktiva strogo propisuje da se energija iz otpada može smatrati obnovljivom samo ako je otpad biorazgradiv, dok se plastika i drugi fosilni materijali u otpadu ne računaju u obnovljive izvore.

Ako se ovome dodaju polemike da je energetsko iskorišćenje otpada direktno suprostavljeno reciklaži i da je prepreka njenoj uspešnijoj primeni, kao i mišljenje većine javnog mnjenja da termički tretmani otpada predstavljaju opasnost po javno zdravlje, postavlja se pitanje da li o ovom tretmanu treba u budućnosti ozbiljnije razmišljati u konceptu održivog upravljanja otpada. Naročito, ako se svemu ovome doda i činjenica da su termički tretmani otpada, finansijski značajno zahtevniji od ostalih tretmana, kako u pogledu kapitalnih, tako i operativnih troškova.

Boban Cvetanović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: boban.cvetanovic@akademijanis.edu.rs).

2. TRENUTNO STANJE U OBLASTI TERMIČKIH TRETMANA OTPADA U EU

Kada govorimo o procentima ukupnih količina otpada, koji se termički tretira u cilju dobijanja korisne energije, prema podacima Eurostata iz 2022.god, ovakvi tretmani čine samo 6,4% ukupnih količina otpada u Evropi, što je zanemarljivo malo u odnosu na reciklažu (40,8%) ili odlaganja na deponije (38,6%), pa čak i u odnosu na, u Srbiji gotovo nepoznati tretman otpada, a to je zatrpavanje (eng.backfilling) [1].

Iako bi se očekivalo da je, zbog relativno male količine otpada tretiranog termičkim postupcima, broj postojenja za spaljivanje otpada u cilju dobijanja energije, vrlo mali i da se ona sporadično pojavljuju, situacija je u stvarnosti drugačija. Trenutno je, samo u Evropi, u radu više od 500 tehnološki visoko razvijenih postrojenja za dobijanje energije iz otpada, tretirajući više od 100 miliona tona otpada godišnje (u 22 države EU radi 155 postrojenja za dobijanje energije iz opasnog otpada i čak 497 koja kao alternativno gorivo koriste neopasan otpad iz domaćinstva, industrije i građevine). Najveći broj (skoro polovina) ovih postrojenja stacionirana je u dve najsnažnije evropske ekonomije, u Francuskoj i Nemačkoj, a većina zemalja EU ima makar jednu spalionicu (Švajcarska i Norveška koje ne pripadaju EU i predstavljaju

uzor, kako u ekonomskom, tako i u ekološkom pogledu, imaju 30, odnosno 18 spalionica) [2].

Prema podacima Konfederacije evropskih postrojenja za dobijanje energije iz otpada (eng. Confederation of European Waste to Energy Plants – CEWEP), ovih petsto evropskih postrojenja za energetski tretman otpada je 2018. godine proizvelo 41.000 GWh električne energije i 96.000 GWh toplotne energije, što je bilo dovoljno električne energije za 19 miliona potrošača i toplote za 16 miliona potrošača [6]. Ovo doprinosi smanjenju upotrebe tradicionalnih fosilnih goriva i smanjenju emisije gasova sa efektom staklene baste (GHG), u poređenju sa konvencionalnim elektranama. Zamena goriva, bilo da je u pitanju prirodni gas, nafta, kameni ugalj ili lignit, je u opsegu od 11 do 53 miliona tona fosilnih goriva, koje neće biti potrošene od strane tradicionalnih elektrana, što opet rezultira izbegavanjem emisije od 24 do 49 miliona tona CO_2, dok se proizvodi ekvivalentna energija [3].

S obzirom na ovoliki broj postrojenja u "srcu" Evrope, postavlja se pitanje, da li tvrdnje o štetnosti postupaka energetskog iskorišćenja otpada na životnu sredinu, zaista imaju realnu osnovu. U Evropi, spaljivanje otpada predstavlja najstrože regulisan sektor u odnosu na sve privredne sektore. Sagorevanje otpada i dobijanje energije iz njega, mora poštovati najstrože zahteve zaštite životne sredine od svih industrijskih grana, pri čemu se prati veći broj parametara nego kod bilo kog drugog industrijskog sektora i postavljene su značajno strože granične vrednosti emisija u odnosu na druge privredne grane. Primenjuju se niske granične vrednosti emisija i drugi zahtevi iz Direktive o industrijskim emisijama (IED), koja predstavlja centralni pravni akt Evropske unije o zaštiti životne sredine, za različite industrijske sektore. Ovim propisima regulisan je širok spektar različitih emisija u vazduh, uključujući prašinu, azotne okside, sumpor-dioksid, 12 različitih teških metala, dioksine i druge organske zagađivače. Osim toga, postoje propisi za izdavanje dozvola, uslove rada, monitoring emisija, termički tretman opasnog otpada, tretman ostataka insineracije ili prečišćavanja dimnih gasova, obaveze izveštavanja, ekološku inspekciju, informisanje javnosti itd. [5]. U prilog tvrdnjama o minimalnom zagađenju životne sredine kao posledice rada postrojenja za spaljivanje otpada, ide i činjenica da se ova postrojenja, vrlo često, nalaze u velikim gradovima, kao što je slučaj sa postrojenjima u Kopenhagenu, Amsterdamu, Malmeu, Beču ili Parizu. Postrojenje u Kopenhagenu je nedaleko od zgrade opere i projektovano je i kao ski staza, postrojenje u Bazelu smešteno je uz lokalni šoping centar, a u Beču se nalazi u blizini Univerziteta i Opšte bolnice. Najveće postrojenje u Evropi nalazi se u centru Pariza, blizu reke Sene.

Kada se analizira suprostavljenost termičkih tretmana i reciklaže, dolazi se do zaključka da, u dobro uređenim sistemima upravljanja otpadom, termički tretmani otpada u cilju dobijanja energije, nisu konkurencija, već na neki način dopuna reciklaži. Čak se može govoriti o trendu da su zemlje sa najvišim stopama reciklaže istovremeno i zemlje sa najvećim stopama dobijanja energije iz otpada. Iako je činjenica da su oba tretmana "zainteresovana" za istu vrstu otpada (plastika, papir, guma…), termički bi trebalo tretirati samo one energetski potentne frakcije otpada, koje se ne mogu reciklirati zbog tehničke nemogućnosti da se preradi u novi proizvod ili komplikovanog i skupog procesa odvojenog sakupljanja, što je preduslov za mehaničku reciklažu.

Na kraju, čini se da jedinu realnu prepreku većem korišćenju termičkih tretmana otpada, predstavlja finasijski aspekt. Realno, ako se imaju u vidu izuzetno visoki troškovi izgradnje i rada postrojenja za termički tretman (kapitalni oko 800 dolara, a operativni oko 70, po toni instlisanog kapaciteta), onda treba iskoristiti neke druge alternative tretiranja, pre svega reciklažu.

Postavlja se pitanje gde se nalazi Srbija u pogledu ovakvog načina tretiranja otpada. Korišćenje otpada kao alternativnog goriva, je tema koja u javnosti Srbije izaziva oprečna reagovanja. Od odobravanja i zagovaranja onih koji smatraju da je to rešenje odlično za smanjenje zagađenja otpadom, dobijanje energije i kao saveznik u borbi protiv klimatskih promena, do protesta građana koji ne žele da se u njihovim sredinama nalaze ovakva postrojenja u strahu od zagađenja vazduha, vode i zemljišta.

I pored, uglavnom, negativnog stava javnosti prema ovakvim tretmanima otpada, izgradnjom postrojenja za energetsko korišćenje otpada na beogradskoj deponiji Vinča, Srbija je napravila prvi korak u korišćenju otpada u energetske svrhe. Postrojenje je u punom kapacitetu počelo sa radom 1.jula 2024.godine (2023. godine postrojenje je bilo u probnom radu, sa smanjenim kapacitetom), pa je rano za donošenje nekih zaključaka o uspešnosti njegovog rada, ali se neke činjenice vezane za projektovanje ovog postrojenja mogu iskoristiti za pravljenje strategije vezane za šire korišćenje ovih tretmana kod nas u budućnosti.

3. ANALIZA POSTROJENJA U VINČI I PERSPEKTIVA TERMIČKIH TRETMANA U SRBIJI

Gradska uprava grada Beograda potpisala u septembru 2017.godine sa privatnim partnerom konzorcijumom Suez - Itoču ugovorna 25+5 godina za pružanje usluga tretmana i odlaganja komunalnog otpada. Ugovor je podrazumevao izgradnju postrojenja za spaljivanje dela komunalnog otpada koji se generiše u Beogradu, i to na prostoru deponije Vinča. Samo postrojenje projektovano je za spaljivanje 340.000 tona otpada. Pri punom kapacitetu postrojenje pokriva snabdevanje oko pet posto domaćinstava Beograda električnom i 10 posto toplotnom energijom. Ovo postrojenje neće sagorevati stari otpad sa deponije, već samo komunalni otpad koji se generiše od trenutka početka rada postrojenja. Važna činjenica, a možemo reći i greška u projektovanju postrojenja odnosi se na predikciju količinekomunalnog otpada, kojiće se generisati u Beogradu, u periodu ugovorne obaveze. Pomenutim ugovorom predviđeno je dopremanje 510.000 tona komunalnog otpada godišnje, od čega bi se spaljivalo 340.000 tona, a 170.000 odlagalo na novu sanitarnu deponiju. Međutim, poslednje dve godine na deponiju u Vinči, stiže između 625.000 i 635.000 tona komunalnog otpada. Kao rezultat toga, raspoloživi prostor za odlaganje otpada, koji je trebalo da bude dovoljan za narednih 25 do 30 godina, biće popunjen već za 12 do 15 godina [4].

Iako ovaj rad nema pretenziju da se bavi finansijskim aspektom ugovora, čudno deluje i iznos godišnjih projektnih plaćanja u iznosu od preko 38 miliona evra ili preko 110 evra po toni otpada, što je dosta iznad prosečnih cena za ovakav tip postrojenja. Samo ovi operativni troškovi, u periodu trajanja ugovora, koštaće preko milijardu evra. S obzirom na sve izrečeno, kakva je onda perspektiva termičkih tremana u našoj zemlji?

Očigledno je da je fokus trenutno na ovakvom tretiranju komunalog otpada, dok se (još) ne razmišlja o potencijalnom sagorevanju opasnog otpada (ovakva postrojenja imaju strože zahteve u pogledu sistema zaštite). Kada se govori o gradu Beogradu, jedno od rešenja za izuzetno velike količine otpada je izgradnja dodatnog postrojenja za termički tretman (uz postojeće, na istoj lokaciji), gde bi se spaljivale količine komunalnog otpada koje prelaze količine predviđene ugovorom. Iako ovo rešenje izgleda pomalo kontradiktorno u odnosu na neke činjenice iznesene u radu, ono je prihvatljivo, ali nije optimalno, naročito sa finansijske strane. Optimalno rešenje bila bi maksimalna primarna selekcija komunalnog otpada, kako bi reciklabilne frakcije otpada uvele u process reciklaže.

Što se tiče ostalih gradova u Srbiji, u narednom periodu, u planu je izgradnja i spalionica u Nišu,Kragujevcu i Čačku. *Ne treba zaboraviti da već nekoliko godina unazad,* cementare u Popovcu i Beočinu, koriste energetski potentne frakcije otpada, kao zamenu za petrol koks, dok cementara u Kosjeriću pokušava da za ovakvu tehnologiju dobije podršku lokalne zajednice. I Elektroprivreda Srbije razmatra mogućnost da nedostatak kvalitetnog uglja u svojim postrojenjima nadomesti komunalnim i drugim otpadom, pogodnim za dobijanje električne energije. Kompanija Elixir, jedini naš proizvođač veštačkog đubriva i jedan od najvećih srpskih izvoznika, planira da u okviru industrijsko – hemijskog kompleksa u Prahovu izgradi energanu na otpad, koja bi se snabdevala otpadom iz domaćinstava u istočnoj Srbiji i industrijskim (opasnim i neopasnim) otpadom sa cele teritorije Srbije. Ovo postrojenje bi ujedno bilo i prvo postrojenje za tretman opasnog otpada u Srbiji, a trebalo bi da bude izgrađeno po najvišim tehnološkim standardima EU.

4. ZAKLJUČAK

Iako ovi planovi ukazuju da će postupci energetske valorizacije, pre svega, komunalnog otpada biti sastavni deo sistema upravljanja otpadom u našoj zemlji, ostaje nejasno kakva je perspektiva tog tretmana kod nas. Jasno je da bi, pre svega, trebalo analizirati iskustva vezana za izgradnju i rad postojećeg postrojenja u Vinči jer zaključci mogu biti smernice za dalje aktivnosti u planu šire primene termičkih tretmana.

LITERATURA

[1] A. E. Bryson and Y. C. Ho, Applied Optimal Control, New York: Wiley 1975.

[2] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics#Waste_treatment pristupljeno 1.12.2025

[3] A. Kuderer, B. Savićević, D.Ubavin i os. Bela knjiga za dobijanje energije iz otpada, Inženjeri zaštite životne sredine, Novi Sad, 2024.g

[4] https://www.cewep.eu/ pristupljeno 2.12. 2025.

[5] B. Cvetanović, Analiza uticaja rada insineratora na javno zdravlje, Zbornik radova Akademije tehničko-vaspitačkih strukovnih studija, Niš, 2024.g.

[6] https://www.bcenergy.rs/ceremonial-opening-of-serbias-first-energy-from-waste-plant/ pristupljeno 2.12.2025.

UPRAVLJANJE KOMUNALNIM OTPADOM NA DEPONIJI „METERIS“ U VRANJU

MANAGEMENT OF MUNICIPAL WASTE AT THE "METERIS" LANDFILL IN VRANJE

Jelena Marković

Sadržaj – U ovom radu reč je o sanitarnoj deponiji „Meteris“ koja se nalazi na teritoriji pčinjskog upravnog okruga. Na deponiji „Meteris“ odlaže se uglavnom komunalni otpad različitog morfološkog sastava. Radi očuvanja same deponije, i pravilnog upravljanja otpadom vrše se stalnohemijske analize koje pokazuju šta je sve prisutno u samom otpadu. Hemijse analie su bitne zato što se na osnovu njih dobijaju rezultati koji se porede sa rezultatima hemijske analize komunalnog otpada u drugim delovima Republike Srbije. Tako se može primetiti da su vrednosti sumpora i hlora nisu detektovane. Sadržaj vlage je oko 70% i najviše dolazi od baštenskog otpada. Organski otpad je dominantan i njegova gustina je 52,52% od ukupne količine otpada, dok metala ima u jakomalim količinama svega 0,22%, a gume gotovo i da nema 0%. Ako se uporede rezultati otpada u EU i drugim gradovima u Republici Srbiji , može se videti da na deponiji „Meteris“, najmanji procenat prisutnog otpada od papira 5,74%, 1,89% staklo, 4,23% plastičnog otpada. Rezultrati pokazuju da je način upravljanja otpadom na deponiji Meteris je zadovoljavajući.

Ključne reči: deponija, upravljanje, hemijska analiza, morfološki sastav

Abstract – This paper is about the "Meteris" sanitary landfill located on the territory of the Pčina administrative district. The "Meteris" landfill mainly disposes of municipal waste of different morphological composition. In order to preserve the landfill itself, and to properly manage the waste, constant chemical analyzes are performed that show what is present in the waste itself. Chemical analyzes are important because based on them, results are obtained that are compared with the results of chemical analysis of municipal waste in other parts of the Republic of Serbia. Thus, it can be observed that the values of sulfur and chlorine were not detected. The moisture content is around 70% and mostly comes from garden waste. Organic waste is dominant and its density is 52.52% of the total amount of waste, while metals are present in extremely small quantities at only 0.22%, and rubber is almost non-existent at 0%. If you compare the results of waste in the EU and other cities in the Republic of Serbia, you can see that at the "Meteris" landfill, the lowest percentage of paper waste is 5.74%, 1.89% glass, 4.23% plastic waste. The results show that the method of waste management at the Meteris landfill is satisfactory.

Keywords: landfill, management, chemical analysis, morphological composition.

1. UVOD

Pod otpadom se podrazumeva svaki materijal ili predmet koji nastaje u toku obavljanja proizvodne, uslužne ili druge delatnosti, predmeti isključeni iz upotrebe, kao i otpadne materije koje nastaju u potrošnji i koje sa aspekta proizvođača, odnosno potrošača nisu za dalje korišćenje i moraju se odbaciti.

Da bi se smanjio negativan ekološki uticaj otpada na prirodu osmišljen je niz procesa upravljanja otpadom. Upravljanje otpadom predstavlja sprovođenje propisanih mera za postupanje sa otpadom u okviru sakupljanja, transporta, skladištenja, tretmana, i odlaganja otpada, uključujući i nadzor nad tim aktivnostima i brigu o postrojenjima za upravljanje otpadom posle zatvaranja (Zakon o upravljanju otpadom, "Sl. glasnik RS", br. 36/2009, 88/2010, 14/2016 i 95/2018 , član 5) [1]. Sistem upravljanja komunalnim otpadom podrazumeva integralni pristup. Upravljanje komunalnim otpadom u Srbiji je u nadležnosti lokalnih samouprava [2]. Na osnovu Zakona o upravljanju otpadom potrebno je da svi regioni i lokalne samouprave donesu regionalne i lokalne planove upravljanja otpadom. Lokalne samouprave treba da se fokusiraju na organizovanje primarne selekcije, kroz organizovano sakupljanje reciklabilnog otpada već u samim domaćinstvima [3]. Takvim jednim odgovornim i savesnim postupkom, postiže se mogućnost recikliranja otpada i sekundarnih otpadnih sirovina dobijanje primarnog proizvoda. Srbiji postoje reciklabilna postrojenja za preradu otpada, alitakva postrojenja nisu mnogobrojna pa ipak veći deo otpada završava na deponijama. Odlaganje otpada na deponijama je jedan od najpraktičnih načina upravljanja otpadom u Srbiji. U Srbiji je, prema postojećem stanju, vrlo malo deponija koje se mogu uključiti u sanitarne deponije [4].

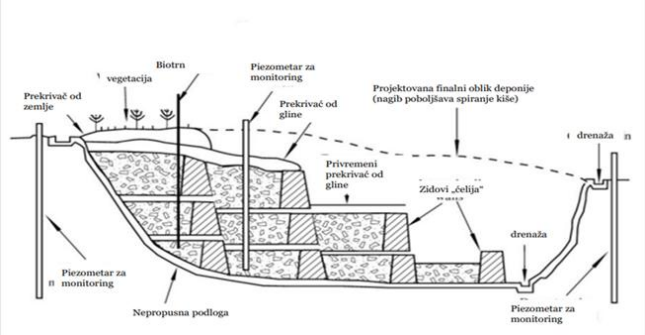
Jelena Marković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, 17500 Vranje (imejl: jelena.markovic@akademijanis.edu.rs).

2. DEPONIJA „METERIS“

Deponija „Meteris“ je jedina sanitarna deponiji na teritororiji Pčinjskog okruga, nalazi se na oko 6 km od grada Vranja [5]. Ukupna projektovana površina kompleksa deponije „Meteris“ je 62.250m^2. Otpad se po dopremanju sistematski rasprostire i raspoređuje buldožerom u slojevima od 0,10 do 0,20 m i sabijaju kompaktorom do određene gustine. Na svaki sabijeni sloj kompaktor rasprostire sledeći tanak sloj otpada preko ravne površine i taj sloj se ponovo njime sabija. Ova operacija se ponavlja dok se ne postigne ukupna visina radnog sloja otpada preko kojeg se planira sloj prekrivenog matrijala od 0,20 m na gornjoj površini ćelije, odnosno 0,60 m sa otvorenih bočnih strana ćelije. Formiranje svake ćelije se završava na kraju radnog dana.

Ukupna količina otpada koja se u toku jednog radnog dana planira i sabije preko jedne radne površine, po završetku rada

prekrije se inertnim materijalom, koji se takođe sabije kompaktorom. Na ovaj način se formira jedna ćelija. Skup ćelija po površini u jednom horinzontalnom redu formira „sloj“ čija je visina oko 2,5 m.



Slika 1. *Šematski prikaz-poprečni presek deponije*

Plan popunjavanja deponije tačno definiše redosled ćelija i slojeva koji se svakodnevno popunjavaju do zatvaranja deponije. Prema planu, deponija se formira odozdo na gore, odnosno, popunjavanje počinje sa najniže tačke deponije i napreduje ka najvišoj, da bi pri kraju eksploatacije deponije postepeno padala ka nižim kotama.

Na deponiji „Meteris“ se sprovode sve mere zaštite životne sredine i vrše svakodnevna ispitivanja parametara životne sredine od strane osoblja koje obavlja različite analize otpada u sopstvenoj akreditovanoj laboratoriji, koja je locirana na deponiji. Kako bi se odabrala najpogodnija metoda obrade otpada odloženog na deponiji „Meteris“ potrebno je poznavati fizičke, hemijske i biološke karakteristike otpada, zbog toga se vrše svakodnevna ispitivanja komunalnog otpada sa deponije u laboratoriji.

Fizičke osobine čvrstog komunalnog otpada uključuju: sastav otpada (morfološki sastav), gustinu, sadržaj vlage, veličinu i distribuciju komada, kapacitet oblasti deponovanja, propusnost sabijenog otpada.

Udeo pojedinih frakcija u prikupljenom komunalnom otpadu iz domaćinstva u 2022.god., koji je odložen na deponiju Meteris prikazan je u tabeli 1.

Tabela I Udeo pojedinih frakcija komunalnog otpada

Vrsta otpada	Udeo u ukupnoj količini (%)
1. Organski otpad	54,52
2. Papir i karton	5,74
3. Kompozitni materijal	2,35
4. Plastika	4,23
5. Staklo	1,89
6. Metal	0,22
7. Tekstil	5,64
8. Guma	0
9. Fini elementi	12,10
10. Ostalo	13,32
Ukupno	100

Pored fizičkih, postoje i hemijske osobine koje su sastavni deo komunalnog otpada, koje se takođe uzimaju u obzir prilikom prezentovanja rezultata o ukupnom stanju upravljanja otpadom. Te osobine su hemijski sastav otpada, pH vrednost, udeo organske/neorganske materije, toplotna moć (kalorijska vrednost).

2.1. Morfološki sastav

Morfološki sastav komunalnog otpada posebno dolazi do izražaja kada se vrši njegova primarna ili sekundarna reciklaža, odnosno rekuperacija materijala i energije. Sastav "preradivog" dela otpada po njegovim pojedinim komponentama i njegovu toplotnu moć, neophodno je što tačnije utvrditi. Kod "nepreradivog" dela otpada, koje ide direktno na deponiju, ove osobine nisu od značaja.

Rezultati istraživanja morfološkog sastava komunalnog otpada u našoj zemlji pokazuju da sa godinama sadržaj organskog otpada neprestano opada, dok sadržaj papira, kartona, plastike, kao i ostalog (nespecifikovanog) otpada raste.

Procenjena srednja vrednost mase nastalog komunalnog otpada u Republici Srbiji je 0,8 kg po stanovniku na dan, što je nešto manje nego u zemljama Centralne i Istočne Evrope. Prema statističkim podacima analiziranosti komunalnog otpada od strane JK Komrad Vranje, procenjena srednja vrednost mase nastalog komunalnog otpada u Vranju je oko 1,2 kg po stanovniku na dan. Prema ovim podacima može se zaključiti da jedan stanovnik Vranja napravi više otpada u toku dana nego neki stanovnik recimo Istočne Srbije. Ovo se može objasniti činjenicom, da zbog povećane količine konzumiranja hrane na dnevnom nivou, raste i količina komunalnog otpada.

Dnevna količina proizvedenog otpada u Beogradu iznosi oko 1.500 tona, što po stanovniku Beogra da iznosi 1kg, šta daje oko 1.000 kg otpada godišnje za prosečnu tročlanu porodicu, a to odgovara otprilike zapremini od 10 m³ [6]. Dnevna količina proizvedenog otpada u Vranju iznosi 50 tona.

Tabela II Uporedni prikaz koičine komunalnog otpada u EU, RS i u Vranju

2.1.1. Gustina komunalnog otpada

U EU	U Republici Srbijji	U Vranju
24 % organske materije	30 % organske materije	54,52 % organske materije
35 % papir	25 % papir	5,74 % papir
6% staklo	7% staklo	1,89 % staklo
11% plastika	5% plastika	4,23 % plastika
2 % tekstil	4 % tekstil	5,64 % tekstil
2% gvožđe	4% gvožđe	0,22 % gvožđe
20 % ostalo	25% ostalo	27,67 % ostalo

Gustina čvrstog komunalnog otpada je važan pokazatelj u procesu postupanja sa otpadom, posebno kada se njegovo zbrinjavanje svodi na odlaganje na deponijama [7].

Definiše se kao masa materijala po jedinici zapremine (kg/m³). Podaci o specifičnoj masi su potrebni da bi se odredila ukupna zapremina otpada s kojom se upravlja.

Srednja gustina komunalnog otpada se izračunava na osnovu formule:

$$Psr = \Sigma(Hn \cdot Pn), \qquad n = 1,..., 10 \qquad (1)$$

gde je:
Hn – procentualni udeo komponente u otpadu
Pn – srednja gustina komponente u otpadu

Gustina otpada uglavnom zavisi od sastava otpada, njegovog sadržaja i stanja nabijenosti (kompaktnosti).

Srednja gustina se određuje laboratorijskim putem na osnovu srednjeg uzorka, a izražava se u kg/m^3, t/m^3 ili kg/l.

$$\rho_{sr} = m_1 - m_2 \qquad (2)$$

gde je:
ρ_{sr} - srednja gustina,
m_1- masa otpadaka sa tarom,
m_2 - masa tare (t)

Srednja gustina zavisi od srednje gustine pojedinih komponenata, morfološkog sastava i vlažnosti čvrstih otpadaka. Gustina otpada koji se generiše iz domaćinstava kreće se u opsegu od 90–150 kg/m^3, nakon odlaganja u kante i kontejnere gustina može biti i do 180 kg/m^3. [8] Nakon toga, sabijanje u kamionima za odnošenje komunalnog otpada povećava gustinu u opsegu od 350–420 kg/m^3.

Tabela III *Srednja gustina pojedinih komponenti komunalnog otpada sakupljenog iz domaćinstva, na deponiji Meteris*

Vrsta otpada	Gustina (t/m^3)	Udeo u ukupnoj količini (%)
1. Organski otpad	0,305	54,52
2. Papir i karton	0,056	5,74
3.Kompozitni materijal	0,124	2,35
4.Plastika	0,224	4,23
5.Staklo	0,321	1,89
6.Metal	0,574	0,22
7.Tekstil	0,064	5,64
8.Guma	0,140	0
9. Fini elementi	0,324	12,10
10. Ostalo	0,324	13,32
Ukupno		100

2.1.2. Sadržaj vlage

Sadržaj vlage se izražava u procentima težine mokrog materijala. Usled prisustva vlage smanjuje se procentualni sadržaj ugljenika i vodonika, a kako bi vlaga brže isparila iz nekog otpada, materijala, troši se velika količina toplote.

Opšta vlažnost čvrstih otpadaka na osnovu labaratorijskih podataka može se izračunati pomoću formule:

$$W = \frac{m1 - m2}{V} \cdot 100 \qquad (3)$$

Gde su:
W – opšta vlažnost (%)
m_1– prethodna masa uzorka (g)
m_2 – masa apsolutno suvog uzorka
V- zapremina uzorka cm^3

Sadržaj vlage na većini deponija komunalnog otpada varira između 15–40 % i zavisi od: sastava otpada, godišnjeg doba, vremenskih uslova, vlažnosti, uslova čuvanja i dr. Sadržaj vlage je bitan parametar za određvanje toplotne vrednosti otpada; definiranje veličine odlagališta; određvanje dimenzija reaktora kod anaerobnog kompostiranja.

U tabeli 4 dat je prikaz opsega i prosečnih vrednosti za udeo vlage pojedinačnih komponenti komunalnog otpada na izvoru generisanja, odnosno pre sakupljanja i transporta.

Tabela IV *Sadržaj vlage pojedinih komponenti čvrstog komunalnog otpada na deponiji Meteris*

Tip otpada	Sadržaj vlage, maseni udeo %	
	Opseg	Prosečna vrednost
Bio-otpad	50-80	70
Papir	4-10	6
Karton	4-8	5
Plastika	1-4	2
Tekstil	6-15	10
Guma	1-4	2
Koža	8-12	10
Baštenski otpad	30-80	70
Drvo	1-4	2
Staklo	2-4	2

2.2. Hemijske osobine komunalnog otpada

Hemijski sastav komponenata koje sačinjavaju komunalni otpad je veoma važna karakteristika, pre svega zbog sagledavanja mogućnosti za njihovo ponovno iskorišćenje i primenu različitih tretmana otpada kao što su insineracija, kompostiranje, reciklaža i ostalo. Najčešće se analize hemijskog sastava otpada odnose na određivanje ključnih elemenata: ugljenika (C), vodonika (H), kiseonika (O), azota (N) i sumpora (S). Detaljnije analize pored navedenih, podrazumevaju određivanje šireg spektra elemenata poput fosfora (P), aluminijuma (Al), gvožđa (Fe), kalcijuma (Ca) i ostalih. U narednoj tabeli date su karakteristične vrednosti hemijskog sastava za pojedine frakcije u komunalnom otpadu.

Tabela V *Rezultati hemijskog sastava komunalnog otpada na deponiji „Meteris“*

Vrsta supstance gr/kg	Komunalni otpad na deponiji Meteris	Vrednosti iz literatur
Suva materija vlažnog otpada	626±86	700
Vlažna materija vlažnog otpada	364±59	300
Ugljenik vlažnog otpada	212±39	180
Ugljenik suve materije	365±33	260
TOS -ukupni organski ugljenik vlažne materije	214±27	180

TOS – ukupni organski ugljenik suve materije	341±41	260
AZOT–N vlažne materije	6.6±0.75	4,7
AZOT–N suve materije	10.6±1.25	6.7
KADMIJUM–Cd vlažne materije	7.6±2.8	6.6
KADMIJUM–Cd suve materije	13.5±3.2	9.4
OLOVO–Pb vlažne materije	340±120	540
OLOVO–Pb suve materije	520±250	770

Elementarna analiza je važna za utvrđivanje dostupnosti hranljivih sastojaka (nutrijenata). Osnovni hemijski pokazatelji po kojima se ocenjuje povoljnost otpada za kompostiranje su soli, organske materije, opšti, amonijačni i nitratni azot, opšti fosfor i kalijum, kalcijum, ugljenik, sulfati i pH vrednost [9].

Tabela VI *Elementarna analiza komunalnog otpada na deponiji Meteris*

Hemijski elementi	Vrednosti
Ugljenik	44,17
Vodonik	5,19
Kiseonik	42,50
Azot	0,73
Sumpor	-
Hlor	-
Pepeo	-
pH – vrednost	5,4

U tabeli 6 prikazane su vrednosti hemijske analize nekih od parametara koji su analizirani u komunalnom otpadu, koji je odložen na deponiju Meteris. Može se videti da elementi sumpor i hlor nisu registrovani u komunalnom otpadu koji se odlaže na deponiji Meteris tokom hemijske analize otpada.

3. ZAKLJUČAK

Radeći na ovoj temi uvideo sam koliki je značaj upravljanja otapdom kao delatnost od opšteg interesa, a sve u cilju zaštite životne sredine i očuvanja zdravlja ljudi. Važan cilj održivog upravljanja otpadom je smanjenje zagađenja životne sredine. Jedna od metoda koja ima za cilj iskorišćenje energije i otpada je reciklaža. Sve veće količine otpada čini da deponije postanu brojnije i da sve više imaju negativan uticaj na životnu sredinu. Neophodno je razviti strategiju upravljanja otpadom. Zaštita životne sredine postaje prioritetna delatnost, uključivanjem svih aktera u procese razvoja i zaštite. Problem otpada predstavlja svakodnevnicu i obuhvata sve osobe, bilo u poslovnom ili u privatnom okruženju.

Uticaj otpada u Republici Srbiji je višestruko negativan, a ključni razlozi za to su nedovoljna pokrivenost opština uslugama javnih komunalnih preduzeća, popunjenost kapaciteta deponija, kao i niska svest stanovništva o načinima pravilnog postupanja sa otpadom i očuvanja životne sredine. Smatram da treba raditi na razvijanju javne svesti, da otpad treba shvatiti kao resurs i maksimalno ga iskoristiti kroz različite opcije upravljanja otapdom (reciklaža, kompostiranje, anaerobna digestija i dr.).

Da bi se odabrala najpogodnija metoda odlaganja i tretmana otpada kao završne faze u sistemu upravljanja otpadom, potrebno je poznavati njegove fizičke, hemijske i biološke osobine, a da bi to bilo uspešno potrebno je imati laboratorije i vršiti ispitivanja. Proces mora biti podržan zakonskom regulativom, institucionalnom organizovanošću, ali i prostornim planiranjem kao nezaobilaznim instrumentom procesa.

LITERATURA

[1] Zakon o zaštiti životne sredine ("Sl. glasnik RS", br. 135/2004, 36/2009, 36/2009 - dr. zakon, 72/2009 - dr. zakon, 43/2011 - odluka US, 14/2016, 76/2018, 95/2018 - dr. zakon i 95/2018 - dr. zakon)

[2] Jovičić N., "Upravljanje čvrstim otpadom", skripta sa materijalom za kurs - Tehnologije i oprema za deponovanje otpada, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac, 2005.

[3] Zakon o upravljanju otpadom ("Sl. glasnik RS", br. 36/2009, 88/2010, 14/2016 i 95/2018 - dr. zakon)

[4] Vlada Republike Srbije, "Uredba o odlaganju otpada na deponije", "Službeni glasnik Republike Srbije, br. 92/2010, 2010, Beograd

[5] Regionalni plan upravljanja otpadom za Pčinjski okrug 2013-2023.

[6] Đurđević J., Rajković D., Đorđević S., „Upravljanje otpadom u Srbiji kroz akciju „Očistimo Srbiju", Nacionalna konferencija o kvalitetu života, Kragujevac, 2011. pp.315-320

[7] Marković N., "Upravljanje komunalnim čvrstim otpadom", Tehnički fakultet Bor 2007.god.

[8] Izveštaj o upravljanju otpadom u Republici Srbiji 2011-2023., Ministarstvo zaštite životne sredine, Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd 2024.

[9] Nešić B., "Upravljanje komunalnim otpadom i potencijali za reciklažu južne i jugoistočne Srbije", Niš, 2010.god.

SMANJENJE UTICAJA EMISIJE OTPADNIH VODA I KORIŠĆENJE ENERGIJE BIOGASA NA DEPONIJI „BUBANJ" U NIŠU

REDUCING THE IMPACT OF WASTEWATER EMISSIONS AND UTILIZING BIOGAS ENERGY AT THE „BUBANJ" LANDFILL IN NIS

Anica Milošević, Matija Milošević, Dragoslav Pavlović, Ljubica Stojković i Slađana Nedeljković

Sadržaj – Otpadne vode sa deponija komunalnog otpada predstavljaju značajan ekološki izazov. Na deponiji „Bubanj" u Nišu, kontrolisano odlaganje neopasnog komunalnog otpada dovodi do formiranja procednih i atmosferskih voda koje mogu sadržati visoke koncentracije organskih i neorganskih zagađujućih materija. Procedne vode nastaju infiltracijom padavina kroz slojeve otpada, pri čemu dolazi do rastvaranja zagađujućih supstanci, a njihov sastav zavisi od vrste otpada, vremena odlaganja, stepena sabijenosti i klimatskih uslova. Analize sprovedene tokom 2023. godine pokazale su povišene vrednosti BPK_5, KPK, azotnih jedinjenja (posebno NO_2-N) i temperature, što ukazuje na termičko zagađenje. Neefikasan kanalni sistem i nepostojanje prečišćavanja vode povećavaju ukupni volumen efluenta, što opterećuje okolni ekosistem, posebno tok Krušce. Anaerobna digestija je efikasna biološka metoda obrade procednih voda bogatih organskom materijom, pri čemu mikroorganizmi u odsustvu kiseonika proizvode metan (CH_4) i (CO_2), smanjujući organsko opterećenje i omogućavajući proizvodnju obnovljive energije. Recirkulacija procednih voda povećava vlažnost i temperaturu otpada, poboljšavajući efikasnost fermentacije, dok proizvedeni metan može poslužiti za proizvodnju električne energije ili grejanje Primena anaerobne digestije u kombinaciji sa recirkulacijom i kontrolom biogasa omogućava održivo upravljanje deponijom, smanjenje zagađenja podzemnih i površinskih voda, iskorišćavanje obnovljive energije i doprinos lokalnoj zajednici. Predloženi pristup predstavlja model dobre prakse za deponije u Srbiji i regionu.

Ključne reči: procedne vode, deponija, anaerobna digestija, biogas, termičko zagađenje, recirkulacija.

Abstract – Wastewater generated at municipal solid waste landfills represents a significant environmental challenge. At the "Bubanj" landfill in Nish, the controlled disposal of non-hazardous municipal waste leads to the formation of leachate and stormwater, which may contain high concentrations of organic and inorganic pollutants. Leachate forms as precipitation infiltrates through layers of waste, dissolving contaminants; its composition depends on the type of waste, disposal duration, degree of compaction, and climatic conditions. Analyses conducted during 2023 revealed elevated values of BOD_5, COD, nitrogen compounds (especially NO_2-N), and temperature, indicating thermal pollution. An inefficient canal system and the absence of a wastewater treatment facility increase the total effluent volume, thereby burdening the surrounding ecosystem, particularly the Krusce watercourse. Anaerobic digestion is an effective biological method for treating leachate rich in organic matter, whereby microorganisms in the absence of oxygen produce methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2), reducing organic load and enabling renewable energy production. The recirculation of leachate increases the moisture and temperature of the waste mass, improving fermentation efficiency, while the generated methane can be utilized for electricity production or heating. The implementation of anaerobic digestion, combined with leachate recirculation and biogas control, supports sustainable landfill management, reduces groundwater and surface water pollution, enables the use of renewable energy, and benefits the local community. The proposed approach represents a model of good practice for landfills in Serbia and the region.

Keywords: leachate, landfill, anaerobic digestion, biogas, thermal pollution, recirculation.

1. UVOD

Upravljanje komunalnim otpadom predstavlja jedan od najvažnijih izazova savremenog društva, sa direktnim uticajem na kvalitet životne sredine, zdravlje ljudi i održivi razvoj. Deponije, kao primarna infrastruktura za odlaganje otpada, neizbežno generišu otpadne vode, tzv. **procedne vode**, koje nastaju infiltracijom atmosferskih padavina kroz slojeve odloženog otpada. Ove vode rastvaraju organske i neorganske materije, prenoseći ih u okolni ekosistem, što može dovesti do zagađenja površinskih i podzemnih voda, degradacije zemljišta i emisije nepoželjnih gasova

Procedne vode predstavljaju kompleksan fenomen čiji sastav zavisi od više faktora: tip otpada, vreme odlaganja, stepen sabijenosti, klimatske karakteristike, temperature i količine padavina, kao i geografske i hidrološke specifičnosti lokacije deponije. Na deponiji „Bubanj"

u Nišu, analiza procednih voda sprovedena tokom 2023. godine pokazala je povišene koncentracije **biološke potrošnje kiseonika (BPK_5)** i **hemijske potrošnje kiseonika (KPK)**, azotnih jedinjenja (posebno NO_2-N) i temperature, što ukazuje na prisustvo **termičkog zagađenja** i potencijalni rizik po okolni ekosistem.

Anica Milošević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija-Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: anica.milosevic@akademijanis.edu.rs).

Matija Milošević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija-Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: matija.milosevic@akademijanis.edu.rs).

Dragoslav Pavlović, JKP Mediana, Mramorska 10, 18000 Niš (Palilula) (imejl: dragoslav.pavlovic@jkpmediana.rs)

Ljubica Stojković, JKP Mediana, Mramorska 10, 18000 Niš (Palilula) (imejl: ljubica.stojkovic@jkpmediana.rs)

Slađana Nedeljković, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija-Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: sladjana.nedeljkovic@akademijanis.edu.rs).

Trenutna infrastruktura na deponiji nije u potpunosti efikasna: kanalni sistem primarno služi za prijem atmosferskih voda i ne omogućava adekvatno odvajanje čistih i kontaminiranih voda. Pomešane vode povećavaju ukupni volumen efluenta i dodatno opterećuju reku Krušcu, dok nepostojanje postrojenja za prečišćavanje procednih voda povećava rizik od eutrofikacije i zagađenja podzemnih voda [1].

Globalno, problem otpadnih voda sa deponija je prepoznat kao ključni faktor ekoloških rizika, a strategije upravljanja uključuju kombinaciju tehničkih, bioloških i regulatornih mera. U Evropskoj uniji i Srbiji, propisi iz Poglavlja 27 ("Životna sredina") i Pravilnik o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vodotokove definišu dozvoljene koncentracije organskih i neorganskih materija u deponijskim vodama. Efikasno poštovanje ovih regulativa zahteva kontinuirani monitoring kvaliteta procednih i podzemnih voda, kao i implementaciju odgovarajućih tehnologija prečišćavanja.

Jedna od najsavremenijih i ekološki održivih metoda tretmana procednih voda je anaerobna digestija. U anaerobnim reaktorima, mikroorganizmi razgrađuju organsku materiju u odsustvu kiseonika, proizvodeći metan (CH_4) i ugljen-dioksid (CO_2), čime se značajno smanjuje organsko opterećenje voda i istovremeno stvara obnovljivi izvor energije – biogas [1]. Metanska fermentacija je posebno efikasna u uslovima gde je telo deponije vlažno i toplo, što se postiže recirkulacijom procednih voda i pravilnom kontrolom vlažnosti i temperature otpada.

Energetski potencijal biogasa je značajan: proizvedeni metan može se koristiti za pogon mikroturbina, proizvodnju električne energije, grejanje objekata ili kao zamena fosilnih goriva, čime se doprinosi smanjenju emisije gasova sa efektom staklene bašte. Pored energetske koristi, anaerobna digestija omogućava smanjenje zagađenja podzemnih i površinskih voda, kontrolu emisije neprijatnih mirisa i povećava ekonomsku održivost deponije.

Na deponiji „Bubanj" već postoje uslovi za stimulaciju metanske fermentacije, jer se procedne vode recirkulišu, što povećava vlažnost i temperaturu otpada – ključne faktore efikasnog anaerobnog procesa. Implementacija anaerobne digestije zahteva uspostavljanje kontrolisanih anaerobnih laguna ili reaktora, sa sistemom za hvatanje i skladištenje proizvedenog biogasa. Ovakva kombinacija tehničkih i bioloških mera omogućava održivo upravljanje deponijom, smanjenje negativnog uticaja procednih voda, iskorišćenje obnovljivih izvora energije i doprinos lokalnoj zajednici.

Monitoring kvaliteta procednih i podzemnih voda je ključan za identifikaciju rizika i evaluaciju efikasnosti mera tretmana. Tokom 2023. godine, na deponiji „Bubanj" analizirani su parametri: temperatura, pH, BPK_5, KPK, koncentracije azotnih jedinjenja (NO_2-N, NO_3-N), ukupni organski ugljenik (TOC), električna provodljivost, prisustvo teških metala, mineralnih ulja i adsorbabilnih organskih halogena (AOX). Rezultati su pokazali prekoračenja graničnih vrednosti emisija, dok podzemne vode još nisu pokazale značajnu kontaminaciju, što ukazuje na potrebu za hitnim preduzimanjem preventivnih mera.

U globalnom kontekstu, deponija Bubanj može poslužiti kao model dobre prakse za integraciju tretmana procednih voda i energetske valorizacije biogasa. Kombinacija anaerobne digestije, recirkulacije procednih voda, kontrolisanog monitoringa i tehničkih mera (retencioni bazeni, vodonepropusne barijere, kanalni sistemi) omogućava smanjenje zagađenja, poboljšava energetsku efikasnost i doprinosi ostvarivanju ciljeva održivog razvoja.



Slika 1. *Postojeća mreža kanala za prijem oborinskih voda na deponiji Bubanj*

2. METODOLOGIJA

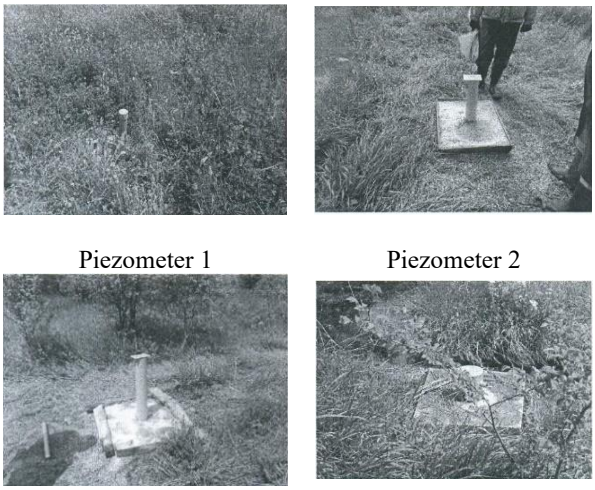
Metodologija ovog istraživanja zasniva se na interdisciplinarnom pristupu koji objedinjuje hidrološke analize, monitoring podzemnih voda, laboratorijska ispitivanja procednih voda, modelovanje migracije zagađujućih materija i evaluaciju upravljačkih strategija otpada i energetskih tokova unutar deponijskog sistema. Svaka faza metodološkog postupka koncipirana je tako da omogući sistemsko razumevanje kako nastanka, tako i kretanja i transformacije procednih voda na deponiji „Bubanj", kao i procenu njihovog uticaja na životnu sredinu.

2.1 Karakterizacija procednih voda – laboratorijski pristup

Ispitivanje procednih voda vrši se standardizovanim metodama koje omogućavaju utvrđivanje ključnih parametara opterećenja: hemijske potrošnje kiseonika (HPK), biološke potrošnje kiseonika (BPK_5), koncentracija amonijum-jona, nitrata, nitrita, teških metala, gvožđa i mangana. Kako ističu [2] procedne vode predstavljaju jedan od najkompleksnijih otpadnih tokova, jer nastaju infiltracijom padavina kroz heterogeni otpad koji se nalazi u različitim fazama razgradnje. Posebno se meri sadržaj azotnih jedinjenja, koji ukazuje na intenzitet anaerobnih i post-anaerobnih procesa u telu deponije. Pored toga, analizira se i prisustvo organskih jedinjenja koja utiču na proces metanske fermentacije i potencijal za biogas.

2.2 Monitoring podzemnih voda putem piezometara

Metod obuhvata uzorkovanje podzemnih voda iz mreže piezometara, postavljenih nizvodno i uzvodno od deponijskog tela. Ovi objekti omogućavaju praćenje prostorne dinamike migracije zagađujućih materija. Migracija procednih voda odvija kroz kompleksan sistem hidrogeoloških slojeva, te je zato kontinuirano merenje nivoa podzemnih voda, protoka i smerova kretanja ključno za razumevanje uticaja deponije na akvifer. Ovaj deo metodologije posebno je važan jer omogućava poređenje koncentracija pre i posle potencijalne kontaminacije. Uzorci se analiziraju i obezbeđuje se normativna kontrola kvaliteta.



Slika 2. *Raspored piezometara*

2.3 Hidrološko–hidraulička analiza površinskih tokova

Za analizu sistema kanala, obodnih kanala i retencija koristi se kombinacija terenskih merenja i tehničke dokumentacije [3]. Analizira se kapacitet postojećih kanala, njihova sposobnost prevođenja atmosferskih voda i rizici prelivanja tokom ekstremnih hidroloških događaja. Ekstremne padavine značajno povećavaju rizik od mobilizacije zagađujućih materija, pa se zbog toga procenjuju i scenariji visokih protoka. Ova analiza omogućava određivanje potrebnih mera rekonstrukcije kanalske mreže, kao što je proširenje kanala C1 ili izgradnja propusta.

2.4 Modelovanje migracije procednih voda – softverski pristup

Modelovanje se zasniva na primeni Landsim ili sličnih alata koji omogućavaju simulaciju horizontalne i vertikalne migracije materija kroz deponijsko telo i podzemne slojeve. Ovakvi modeli omogućavaju prediktivnu analizu, posebno kada se planira dugoročna sanacija ili zatvaranje deponije. Modelom se simuliraju parametri kao što su: brzina infiltracije, zadržavanje u zasićenoj zoni, disperzija, razblaženje i akumulacija kontaminanata. Ovaj deo metodologije pruža osnovu za procenu dugoročnog uticaja deponije na regionalni vodonosnik.

2.5 Analiza energetskih i bioloških procesa

U okviru metodološkog pristupa vrši se procena potencijala recirkulacije procednih voda radi povećanja efikasnosti anaerobne digestije i proizvodnje biogasa. Povećanje vlažnosti otpada direktno utiče na dinamiku fermentacije i generisanje metana. Ovaj element metodologije obuhvata procenu odnosa između recirkulacije, stabilizacije otpada i eventualnog povećanja temperature u deponijskom telu, što može voditi i riziku od termičkog zagađenja [4].

2.6 Procena ekološkog rizika

Model procene rizika zasniva se na integraciji podataka o kvalitetu procednih i podzemnih voda, hidroloških uslova, strukture otpada i ranjivosti okoline, što je u skladu sa metodologijama [5]. Kvantifikacija rizika uključuje identifikaciju izvora, putanja i receptora zagađenja. Na osnovu analize, klasifikuje se nivo rizika i predlažu mere za njegovo smanjenje.

Tabela I *Mesečni trend BPK5, KPK i NO_2-N*

Mesec	BPK5 (mg/L)	KPK (mg/L)	NO_2-N (mg/L)
Januar	35	120	3.5
Februar	30	110	3.2
Mart	28	105	2.9
April	40	130	4.0
Maj	38	125	3.8
Jun	42	135	4.2
Jul	50	150	5.0
Avgust	48	145	4.8
Septembar	40	130	4.0
Oktobar	35	120	3.5
Novembar	32	115	3.2
Decembar	30	110	3.0

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1 Rezultati ispitivanja procednih voda

Analize uzoraka procednih voda pokazuju izrazito visoke vrednosti organskih i azotnih jedinjenja. Merene koncentracije HPK i BPK_5 ukazuju na fazu aktivne anaerobne razgradnje otpada, što potvrđuje visok stepen biološke aktivnosti u telu deponije. Identifikovane su značajne koncentracije amonijum-jona, što potvrđuje navode [2] da je azot jedan od najdominantnijih polutanata u odlagališnom eluatu. Prisustvo gvožđa i mangana u podignutim vrednostima ukazuje na rastvaranje mineralnih komponenti iz otpada i njihov transport pod anaerobnim uslovima, koji ističe da metali iz otpada prelaze u rastvor uglavnom u uslovima niske oksidacije.

Dobijene vrednosti ukazuju na potrebu za složenim tretmanom, uključujući biološke i hemijske faze, budući da konvencionalni tretmani ne obezbeđuju potpunu degradaciju azotnih jedinjenja. To je naročito važno ukoliko se razmatra mogućnost recirkulacije procednih voda, jer previsoka koncentracija amonijuma može usporiti metanske procese, iako povećana vlažnost po pravilu ubrzava anaerobnu digestiju.

3.2 Rezultati monitoringa podzemnih voda

Rezultati piezometarskih merenja pokazuju blage do umerene fluktuacije nivoa podzemnih voda tokom godine, sa porastima nakon sezonskih padavina. U piezometrima nizvodno od deponije detektovane su umerene koncentracije amonijaka, gvožđa i provodnosti, što ukazuje na ograničenu, ali prisutnu migraciju zagađujućih materija iz deponijskog tela. Koncentracije nisu prelazile zakonske limitne vrednosti u svim uzorcima, ali pojedini piezometri ukazuju na povremeno povećanje specifičnih parametara nakon intenzivnih padavina.

Šare zagađenja u potpunosti potvrđuju zaključke [6], koji tvrde da migracija procednih voda najčešće nije kontinuirana već zavisi od hidroloških impulsa, zasićenosti zemljišta i dinamike otapanja otpada. Ovi rezultati dodatno naglašavaju važnost rekonstrukcije obodnih kanala i retencija, jer adekvatno odvođenje atmosferskih voda smanjuje procenat infiltracije u telo deponije.



Slika 3. *Retencioni bazen*

3.3 Hidrološka analiza kanala i retencija

Terenski rezultati pokazuju da postojeća kanalna mreža nema dovoljan kapacitet za prevođenje ekstremnih proticaja, što je naročito izraženo na kanalu C1 i retenciji br. 1. Vizuelnim pregledom i uvidom u tehničku dokumentaciju utvrđeno je da su pojedini segmenti kanala uski, sa obrastanjem vegetacijom i naslagama erozivnog materijala, što smanjuje hidrauličku provodnost. Zbog toga je, na osnovu merenja i proticajnih proračuna, opravdano predloženo proširenje kanala i izgradnja novih propusta.

Ovi nalazi [7] ukazuju da ekstremne hidrološke pojave imaju direktan uticaj na povećanje rizika od razlivanja i transporta zagađenja. Posebno je naglašeno da klimatske promene povećavaju broj epizoda intenzivnih padavina, pa stoga postojeće projektne vrednosti više ne obezbeđuju neophodan nivo bezbednosti.

3.4 Modelovanje migracije procednih voda

Simulacije sprovedene na osnovu Landsim modela ukazuju da je najverovatnija putanja migracije u pravcu jugoistočnog dela terena, gde se nalaze najniže kote terena i vodonosni horizont sa povećanom propustljivošću. Model pokazuje da značajnija horizontalna migracija nije očekivana ukoliko se realizuju mere sanacije kao što su rekultivacija, završno prekrivanje i efikasno upravljanje padavinskim vodama.

Model takođe potvrđuje da bi nekontrolisana infiltracija mogla dovesti do dugoročnog prodora amonijum-jona kroz nezasićenu zonu, a azotna jedinjenja predstavljaju najperzistentnije polutante u eluatu.

4. ZAKLJUČAK

Sprovedeno istraživanje ukazuje da procedne vode deponije „Bubanj“ predstavljaju značajan ekološki izazov zbog visokog sadržaja organskih i anorganskih polutanata, naročito azotnih jedinjenja, gvožđa i mangana. Monitoring podzemnih voda potvrđuje da postoji određeni nivo migracije zagađenja, ali u meri koja se može kontrolisati adekvatnim merama upravljanja i sanacije.

Rezultati takođe pokazuju da je kanalna infrastruktura nedovoljno kapacitirana za savremene hidrološke uslove, zbog čega je potrebna rekonstrukcija i poboljšanje sistema odvođenja padavinskih voda. Softversko modelovanje potvrdilo je da najveći rizik nastaje usled infiltracije tokom ekstremnih padavina, što je ključni faktor koji određuje buduće smernice za upravljanje deponijom.

Opšti zaključak istraživanja jeste da deponija zahteva sistemsko unapređenje kroz:

- rekonstrukciju kanala i retencija,
- kontrolu i tretman procednih voda,
- praćenje podzemnih voda,
- mogućnost optimizovane recirkulacije eluata radi stabilizacije otpada.

Primena navedenih mera omogućila bi dugoročno smanjenje ekološkog rizika i harmonizaciju sa domaćim i evropskim standardima zaštite životne sredine.

LITERATURA

[1] Stojković, Lj. (2022). Study of waste treatment energy efficiency. In *Proceedings of conference*, Niš, Serbia, pp. 529–533.

[2] Radosavljević, J., & Đorđević, A. (2013). *Landfills and municipal waste disposal*. University of Niš, Faculty of Occupational Safety. ISBN 978-86-6093-010-3

[3] Hidrozavod d.o.o. (2021). Conceptual solution for the rehabilitation of the landfill “Bubanj” in Niš. Novi Sad.

[4] Laković, M. S., et al. (2018). Risk of thermal pollution of the Danube passing through Serbia due to thermal power plants. *Thermal Science*, 22(Suppl. 5), S1323–S1336. https://doi.org/10.2298/TSCI18S5323L

[5] Đorđević, A., & Stevanović, V. (2020). *Environmental risk*. University of Niš, Faculty of Occupational Safety. ISBN 978-86-6093-091-2

[6] Petrović, N., Vasović, D., Nešić, B., & Petrović, N. (2023). Landfill leachate migration modeling using the LandSim software: Case study of Gigoš regional sanitary landfill. *Environment Protection Engineering*, 49(4). https://doi.org/10.37190/epe230406

[7] Stanković, S., Vasović, D., & Živković, N. (2019). Impacts of extreme hydrological events on sustainable water resources management and human well-being. *Safety Engineering*, UDC 502.51. https://doi.org/10.7562/SE2019.9.01.06

TERMODINAMIČKA EFIKASNOST KORIŠĆENJA DEPONIJSKOG GASA NA DEPONIJI U NIŠU

THERMODINAMYC EFFICENCY OF LANDFILL GAS UTILIZATION AT THE NIŠ LANDFILL

Matija Milošević, Anica Milošević, Dragoslav Pavlović i Ljubica Stojković

Sadržaj – Sistemi za proizvodnju električne energije zahtevaju prethodno prikupljanje gasa iz organske materije komunalnog otpada. Prikupljanje deponijskog gasa (LFG) vrši se putem sistema za degasiranje. U slučaju deponije u Nišu, ovaj sistem je delimično izgrađen postavljanjem biotronova za evakuaciju deponijskog gasa u atmosferu. U radu je prikazan sastav deponijskog gasa, njegov zapreminski udeo, koji uključuje: metan (CH_4), ugljen-dioksid (CO_2), vodonik-sulfid (H_2S), ugljen-monoksid (CO) i vodonik (H_2). Elektrohemijska merenja su vršena mesečno pomoću GEM TM 2000 Plus analizatora gasa. Merenja su rađena na kontrolnim tačkama, na izlazu iz biotrona na zatvorenom i saniranom polju S2 i S3, kao i na simuliranoj kontrolnoj tački, na horizontalnom i vertikalnom drenažnom sistemu aktivnog sistema, na aktivnom polju S4. Za procenu potencijala deponijskog gasa korišćen je stehiometrijski proračun sagorevanja gasovitih goriva. U radu je zaključeno da je energetski najefikasniji metod tretmana otpada plazma gasifikacija. Tokom gasifikacije oslobađa se toplota i gasovi, koji se mogu koristiti u termoelektrani za proizvodnju električne energije.

Ključne reči: Deponijski gas, deponija, tretman otpada, gasifikacija.

Abstract – Systems for electricity production require the prior collection of gas from organic municipal waste. Landfill gas (LFG) is collected through degassing systems. In the case of the landfill in Niš, this system is partially constructed with the installation of bio-flares to release landfill gas into the atmosphere. The paper presents the composition of landfill gas, its volumetric fraction, which includes: methane (CH_4), carbon dioxide (CO_2), hydrogen sulfide (H_2S), carbon monoxide (CO), and hydrogen (H_2). Electrochemical measurements were conducted monthly using the GEM TM 2000 Plus gas analyzer. Measurements were taken at control points, at the outlet of the bio-flare in the closed and remediated fields S2 and S3, as well as at a simulated control point, on the horizontal and vertical drainage system of the active system in the active field S4. A stoichiometric calculation of the combustion of gaseous fuels was used to assess the potential of landfill gas. The study concluded that the most energy-efficient method of waste treatment is plasma gasification. During gasification, heat and gases are released, which can be used in a thermal power plant to generate electricity.

Keywords: Landfill gas, landfill, waste treatment, gasification.

1. UVOD

Zahtevi u vezi sa ekonomskim i termodinamičkim performansama postrojenja i komponenti sistema, u pogledu konverzije, distribucije i potrošnje različitih vrsta energije, neprestano se proučavaju. Osnovu za proučavanje energetskih sistema čine zakon održanja mase i Prvi zakon termodinamike. Odlaganjem komunalnog otpada nastaje deponijski gas (LFG), kao obnovljiv izvor energije, koji može izazvati zagađenje vazduha, pa je upravljanje LFG-om veoma važno [1]. Odlaganjem komunalnog otpada nastaje deponijski gas (LFG). On predstavlja kompleksnu mešavinu zapaljivih i nezapaljivih gasova, čiji sastav zavisi od vrste otpada, starosti deponije, vlažnosti i temperature.

Najzastupljeniji su metan (CH_4) i ugljen-dioksid (CO_2), dok su prisutni i manji sadržaji vodonika (H_2), ugljen-monoksida (CO) i vodonik-sulfida (H_2S).

Matija Milošević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija-Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: matija.milosevic@akademijanis.edu.rs).

Anica Milošević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija-Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: anica.milosevic@akademijanis.edu.rs).

Dragoslav Pavlović, JKP Mediana, Mramorska 10, 18000 Niš (Palilula) (imejl: dragoslav.pavlovic@jkpmediana.rs)

Ljubica Stojković, JKP Mediana, Mramorska 10, 18000 Niš (Palilula) (imejl: ljubica.stojkovic@jkpmediana.rs)

Deponijski gas se smatra obnovljivim izvorom energije, ali je istovremeno i značajan zagađivač vazduha. Metan, kao gas sa efektom staklene bašte, ima globalni potencijal zagrevanja 25 puta veći od CO_2. Zbog toga je njegovo prikupljanje i korišćenje za energetske svrhe od ekološkog i ekonomskog značaja.

U ovom radu je izvršena analiza sastava LFG na deponiji „Bubanj“ u Nišu, poređenje pasivnog i aktivnog sistema

degasiranja, procena potencijala za proizvodnju električne energije, kao i razmatranje plazma gasifikacije kao najefikasnijeg metoda tretmana otpada.

2. MONITORING DEPONIJE

Monitoring deponije predstavlja sastavni deo jedinstvenog informacionog sistema zaštite životne sredine, koji ima za cilj:

- procenu uticaja deponijskog gasa na životnu sredinu,
- usklađenost vrednosti emisije sa graničnim vrednostima propisanim zakonodavstvom Republike Srbije,
- proračun sagorevanja gasovitih goriva,
- izbor metoda tretmana otpada.

Zakonska obaveza JKP *"Mediana"* Niš, kao operatora postrojenja koje je izvor emisije i zagađenja životne sredine, jeste da vrši monitoring deponije u skladu sa članom 76. Zakona o zaštiti životne sredine. Pravilnik o metodologiji za izradu nacionalnog i lokalnog registra **izvora** zagađivanja, kao i metodologija za vrste, načine i rokove prikupljanja podataka [2], propisuje:lokalni registar koji vodi nadležni organ jedinice lokalne samouprave i nacionalni registar vodi Agencija za zaštitu životne sredine, najkasnije do 31. marta tekuće godine.

Zakonska obaveza prikupljanja i spaljivanja deponijskog gasa nalaže njegovo korišćenje u energetske svrhe uz ostvarivanje ekonomske dobiti. Na deponiji u Nišu za degasiranje gasa postavljen je pasivni sistem putem vertikalno perforiranih cevi (biotronova), kao i simulirani aktivni sistem (sonda), koji je povezan horizontalno.

Gas sa deponije se prikuplja na kontrolisan način korišćenjem sistema kolektorskih cevi i šahtova u kombinaciji sa nepropusnom barijerom, a oslobađa se kroz sondu (slika 1).



Slika 1. *Pilot projekat aktivnog degasiranja biogasa na deponiji „Bubanj“ u Nišu: pasivni sistem putem vertikalno perforiranih cevi i aktivni sistem, koji je povezan horizontalno*

3. ZAPREMINSKI SASTAV DEPONIJSKOG GASA

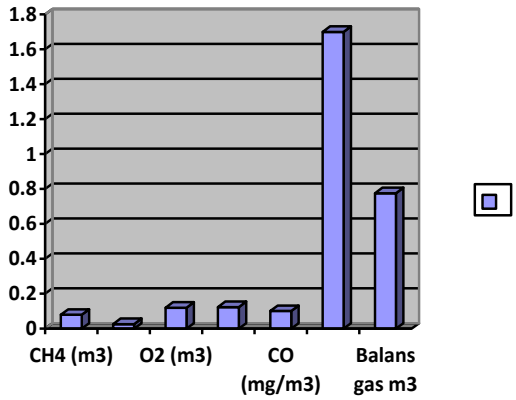
U ovom radu je analiziran zapreminski sastav deponijskog gasa na više kontrolnih tačaka, pričemu se procenjuje njegov energetski potencijal na osnovu dobijenih merenja, korišćenjem odgovarajućih jednačina [3], kao i mogućnosti valorizacije gasa kroz savremene tehnologije kao što je plazma gasifikacija.

Deponija „Bubanj“ u Nišu je gradska deponija, bez zaptivne folije na dnu, što dovodi do prodiranja vazduha i gubitaka gasa. Sanacija: sprovedena na poljima S2 i S3 (pasivni sistem), dok je na polju S4 primenjen simulirani aktivni sistem degasiranja. Pasivni sistem: vertikalno perforirane cevi. Aktivni sistem: horizontalne i vertikalne drenažne cevi povezane na sondu.

Hemijska analiza pokazuje da je dominantna komponenta gasa metan, sa prosečnim udelom od oko 50%, što ga čini gorivom visoke kalorijske vrednosti. Pored metana, značajni su udelima i CO_2 (25–45%), CO, H_2S i H_2. Rezultati ukazuju na sezonsku varijabilnost sastava i jačinu emisija, što je povezano sa temperaturom, količinom padavina, stepenom zbijenosti otpada i nivoom organske materije.

Rezultati merenja pokazuju da deponijski gas sadrži značajan procenat metana, što ga čini pogodnim za sagorevanje i proizvodnju energije. Međutim, prisustvo nepoželjnih komponenti, kao što su CO_2 i H_2S, smanjuje ukupnu kalorijsku vrednost gasa i zahteva dodatnu obradu. Na osnovu stehiometrijskih proračuna sagorevanja gasovitih goriva, izvršena je detaljna analiza količine potrebnog kiseonika, sastava produkata sagorevanja i odnosa vazduh/gorivo.

Tehnički deo rada uključuje stehiometrijski proračun minimalne količine kiseonika potrebne za potpuno sagorevanje gasova, kao i analizu sastava produkata sagorevanja (CO_2, H_2O, O_2, N_2). Posebna pažnja posvećena je izračunavanju odnosa vazduh/gorivo i koeficijenta viška vazduha, što je ključno za pravilno projektovanje sistema za sagorevanje. Proračuni su pokazali da se, u optimalnim uslovima, iz jednog kubnog metra deponijskog gasa može dobiti između 1.75 i 2.15 kWh električne energije, u zavisnosti od sadržaja metana i efikasnosti korišćenog sistema.



Slika 2. *Zapreminski sastav deponijskog gasa, za mesec septembar 2024.*

Najveća proizvodnja deponijskog gasa na ovoj lokaciji zabeležena je nakon sanacije 2017. godine i iznosila je 298,78 m^3/h. Predviđanja ukazuju da će se količina gasa u narednih deset godina smanjiti za oko 30%, dok se posle 20 godina očekuje pad od preko 50%. Ukupni energetski potencijal za segment S4, ako se iskoristi u postrojenju od 1 MW, iznosi oko 168 GWh u desetogodišnjem periodu. Sa efikasnošću sistema prikupljanja gasa koja se kreće oko 90%, moguće je očekivati proizvodnju od 151 GWh. Ekološki aspekti projekta nisu zanemareni. Monitoring emisija pokazuje da se koncentracije štetnih gasova, uključujući H_2S i CO, nalaze ispod propisanih graničnih vrednosti u skladu sa Pravilnikom o kvalitetu vazduha [4]. Time se potvrđuje da primena biotronova i

aktivnih sistema ne narušava kvalitet vazduha u neposrednoj okolini. Takođe, izgradnja sistema za degasiranje doprinosi sprečavanju bočnog curenja gasa, prodiranju kiseonika i samim tim požarima i eksplozijama u telu deponije.

4. PLAZMA GASIFIKACIJA

Plazma gasifikacija je identifikovana kao najefikasniji način tretmana otpada, jer omogućava gotovo potpunu transformaciju otpada u korisne proizvode: sintetički gas (mešavina CO i H_2), staklastu trosku, metale i vodu. Ovu tehnologiju karakteriše visoka temperatura (do 5.000°C), kojom se razlažu i najotporniji organski molekuli. Sintetički gas se može koristiti u kogeneracijskim postrojenjima za proizvodnju električne i toplotne energije, dok se inertni ostaci mogu dalje koristiti u građevinskoj industriji. Iako je ova tehnologija finansijski zahtevna, njena dugoročna održivost i visok stepen iskorišćenja čine je atraktivnim rešenjem za budućnost. Implementacija ovakvog sistema bi doprinela smanjenju emisija stakleničkih gasova, zaštiti životne sredine i ekonomskoj održivosti.

Pored svih navedenih analiza, u radu je razmotren i pravni okvir upravljanja otpadom i emisijama gasova u Srbiji. Na osnovu Zakona o zaštiti životne sredine i pratećih pravilnika, operatori deponija dužni su da sprovode redovan monitoring emisija i vode lokalne registre zagađivača. JKP „Mediana“ Niš, kao odgovorni operater deponije „Bubanj“, ima zakonsku obavezu da obezbedi efikasan sistem prikupljanja i kontrole LFG-a, što predstavlja temelj za razvoj budućih projekata energetske valorizacije otpada.

Plazma gasifikacija predstavlja tehnologiju koja objedinjuje ekološku, energetsku i ekonomsku korist, čime doprinosi održivom razvoju i transformaciji otpada u dragocene resurse, smanjujući pritom negativan uticaj na životnu sredinu i omogućavajući integraciju obnovljivih izvora energije u lokalni energetski sistem.

5. PRAVNI OKVIR

Pored svih navedenih analiza, uzet je u obzir i pravni okvir upravljanja otpadom i emisijama gasova u Srbiji. Iako je sistem u razvoju, ključni izazov ostaje efikasna implementacija i jačanje kapaciteta institucija, kako bi se obezbedila potpuna usklađenost sa EU standardima.

Republika Srbija propisuje obavezu monitoringa i korišćenja deponijskog gasa u skladu sa: Zakonom o zaštiti životne sredine [5], Zakonom o upravljanju otpadom [6] (Službeni glasnik RS, br. 36/2009, 88/2010, 14/2016, 95/2018, 35/2023), Pravilnikom o uslovima monitoringa i zahtevima kvaliteta vazduha [4], Pravilnikom o metodologiji za vođenje lokalnog i nacionalnog registra izvora zagađenja [2].

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih analiza i dostupnih podataka, može se zaključiti da deponija „Bubanj“ u Nišu ima realan potencijal da preraste u energetski resurs grada Niša. Implementacija aktivnog sistema za prikupljanje gasa, u kombinaciji sa savremenim tehnologijama prerade, može doneti višestruku korist – od proizvodnje električne energije, preko smanjenja emisija štetnih gasova, do unapređenja ekoloških standarda. U perspektivi, ovakvi sistemi mogu poslužiti kao model i za druge sredine u Srbiji koje se suočavaju sa izazovima zbrinjavanja otpada i energetskom nezavisnošću.

Plazma gasifikacija se pokazuje kao jedna od najefikasnijih tehnologija za tretman otpada, jer se na taj način transformiše otpad u korisne proizvode – sintetički gas, staklastu trosku, metale i vodu. Obzirom da je karakteriše ekstremno visoka temperatura, pri ovom procesu se razlažu i najotporniji organski molekuli, dok se dobijeni sintetički gas može koristiti za proizvodnju električne i toplotne energije. Iako je skupa, ova tehnologija nudi dugoročnu održivost, visok stepen iskorišćenja i značajno smanjenje emisija gasova staklene bašte. Time plazma gasifikacija predstavlja perspektivno rešenje koje istovremeno doprinosi zaštiti životne sredine i ekonomskoj koristi.

Kroz multidisciplinarni pristup koji povezuje hemiju, inženjering, zaštitu životne sredine i zakonsku regulativu, ovaj rad pruža sveobuhvatan uvid u mogućnosti koje deponijski gas nudi kao obnovljivi izvor energije. Njegova valorizacija, ako se sprovede uz odgovarajuću podršku lokalnih i državnih institucija, može biti ključni korak u prelasku Srbije ka cirkularnoj ekonomiji i niskougljeničnoj energetici.

LITERATURA

[1] Stojković Lj., Mihajlović I., Pavlović D., *Energy efficiency of the passive system for extraction of landfill gas at the landfill of Nish*, 21th International Conference on Thermal Science and Engineering of Serbia, Niš, Serbia, October 22 – 25, ppm. 147-153; 2024.

[2] Službeni glasnik RS, br. 91/2010, 10/2013 i 98/2016

[3] Mitic D., *Fuels and basics combustion – Collection of tasks,* Faculty Safety at Work, Nis, ISBN 86-83129-01-2, 1997.

[4] Službeni glasnik RS, br. 11/2010, 75/2010, 63/2013

[5] Službeni glasnik RS, br. 135/2004, 36/2009, 14/2016, 76/2018, 95/2018

[6] Službeni glasnik RS, br. 36/2009, 88/2010, 14/2016, 95/2018, 35/2023

KVANTITATIVNI UVID U AKUSTIČKU PERCEPCIJU PROSTORA POMOĆU REGRESIONE ANALIZE JASNOĆE GOVORA

A QUANTITATIVE INSIGHT INTO ACOUSTIC SPACE PERCEPTION USING REGRESSION ANALYSIS OF SPEECH CLARITY

Violeta Stojanović i Zoran Milivojević

Sadržaj – U ovom radu je prikazan kvantitativni uvid u akustičku percepciju poluovalne prostorije primenom regresione analize jasnoće govora. To je realizovano poređenjem vrednosti jasnoće govora dobijenih teorijskim metodom predikcije sa vrednostima dobijenim obradom eksperimentalnih merenja u softverskom paketu EASERA. Ispituje se njihova zavisnost od rastojanja prijemnika od zvučnog izvora i povezanost sa perceptivnim kriterijumima akustičke "otvorenosti" i "zatvorenosti" prostora. U prvom delu rada prikazani su teorijski okvir i predikcioni model jasnoće govora. U drugom delu rada opisan je eksperiment, predstavljeni su dobijeni rezultati (tabelarno i grafički) i izvršena je njihova analiza, na osnovu koje je dat zaključak o akustičkoj percepciji analiziranog prostora.

Ključne reči: jasnoća govora, regresiona analiza, komparacija modela, akustička percepcija prostora.

Abstract – This paper presents a quantitative insight into the acoustic perception of a semi-oval room using regression analysis of speech clarity. This is achieved by comparing clarity values obtained by the theoretical prediction method with those derived from processing experimental measurements in the EASERA software package. Their dependence on the receiver–source distance and their relationship to perceptual criteria of acoustic "openness" and "enclosure" is examined. In the first part of the paper, the theoretical framework and the prediction model of speech clarity are presented. In the second part of the paper, the experiment is described, the obtained results are presented (in tabular and graphical form), and their analysis is provided, based on which a conclusion about the acoustic perception of the analyzed room is drawn.

Keywords: speech clarity, regression analysis, model comparison, acoustic space perception.

1. UVOD

Percepcija akustičkog prostora u velikoj meri zavisi od jasnoće govora, jednog od ključnih parametara u evaluaciji akustičkih karakteristika zatvorenih prostora. Kao indikator subjektivnog doživljaja prostora, ovaj parametar se u istraživanjima posmatra kao veza između objektivne akustičke analize i perceptivne predikcije.

Suštinski doprinos razumevanju promene jasnoće govora u zavisnosti od akustičkih uslova prostora dali su Barron i Lee 1988. godine [1]. Autori su razvili numerički model predikcije indeksa jasnoće govora u funkciji rastojanja prijemnika od zvučnog izvora r i vremena reverberacije RT. Ovim modelom je prvi put na konzistentan način uspostavljena veza između prostorne raspodele zvučne energije i perceptivnog doživljaja slušaoca, čime su postavljeni temelji savremenih analiza jasnoće govora u zatvorenim prostorima. Na ovim osnovama, tokom 1990-ih godina, Cabrera je primenio Barron–Lee pristup u regresionim analizama jasnoće govora, pri čemu je posebno istakao značaj nagiba regresionih pravih kao parametra koji je direktno u korelaciji sa subjektivnim osećajem akustičke percepcije prostora [2]. Ovakav pristup omogućio je da se razlike u akustičkom ponašanju prostora sagledaju kvantitativno, ali i da se interpretiraju u kontekstu perceptivnog kvaliteta govora.

Violeta Stojanović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: violeta.stojanovic@akademijanis.edu.rsc).

Zoran Milivojević, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija – Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: zoran.milivojevic@akademijanis.edu.rs).

U ovom radu je za prostoriju poluovalnog oblika kvantitativno sagledana degradacija indeksa jasnoće govora sa rastojanjem prijemnika od zvučnog izvora, koja direktno korespondira sa perceptivnim kriterijumima subjektivnog doživljaja akustičkog prostora kao "otvorenijeg" ili "zatvorenijeg". Analiza obuhvata oktavne frekvencije 500 Hz i 1000 Hz, koje pripadaju govornom opsegu i imaju dominantan uticaj na proces razumevanja govora [3]. Nakon komparacije vrednosti jasnoće govora dobijenih Barron–Lee numeričkim predikcionim modelom (BLp) i eksperimentom, izvršena je regresiona analiza. Eksperimentalni deo je obuhvatio snimanje akustičkih impulsnih odziva prostorije (RIR – *Room Impulse Response*) i njihovu obradu u softverskom paketu EASERA [4], dok je linearna regresiona metoda primenjena na selektovane merne tačke koje prate očekivani trend opadanja jasnoće sa rastojanjem. Fokus analize usmeren je na nagibe regresionih linija i njihovu povezanosti sa perceptivnim kriterijumima subjektivnog doživljaja prostora: brža degradacija jasnoće govora asocira na subjektivni osećaj akustički zatvorenijeg prostora (prostora manjih dimenzija), dok sporija degradacija asocira na subjektivni osećaj akustički otvorenijeg prostora (prostor većih dimenzija). Dobijeni rezultati su prikazani tabelarno i grafički a statistička obrada podataka i regresione analize izvršene su u programskom paketu MATLAB [5].

Organizacija rada je sledeća: u Sekciji 2 prikazan je teorijski model predikcije indeksa jasnoće govora C_{80}, osnova za dalje poređenje sa eksperimentalnim rezultatima, Sekcija 3 sadrži opis eksperimenta, prikaz dobijenih rezultata i njihovu analizu. U Sekciji 4 izneti su zaključci istraživanja.

2.TEORIJSKI MODEL PREDIKCIJE INDEKSA JASNOĆE GOVORA

Indeksi jasnoće govora C_{50} i jasnoće muzike C_{80} definišu se prema standardu ISO 3382-1 [6].

Barron i Lee razvili su numerički predikcioni model (u daljem tekstu BLp), za koncertne dvorane i muzičku akustiku, u kojem se, uz pretpostavku približno konstantnog vremena reverberacije RT, indeks jasnoće za muziku C_{80} definiše u zavisnosti od direktne zvučne energije E_{direct}, kao i raspodela rane E_{early} i kasne E_{late} zvučne energije u posmatranoj prijemnoj tački prostora [1]:

$$C_{80} = 10\log\left(\frac{E_{direct}+E_{early}}{E_{late}}\right). \quad (1)$$

Zvučne energije su date sa:

$$E_{direct} = \frac{100}{r^2}, \quad (2)$$

$$E_{early} = \left(\frac{31200RT}{V}\right)e^{-0.04r/RT}\left(1-e^{-1.11/RT}\right), \quad (3)$$

$$E_{late} = \left(\frac{31200RT}{V}\right)e^{-0.04r/RT}e^{-1.11/RT}, \quad (4)$$

gde su: r - rastojanje prijemnika od zvučnog izvora a V – zapremina prostorije.

Cabrera je primenio BLp model na nastavne prostorije i govor [2]. Zaključio je da prostorna promena indeksa jasnoće C_{80} sa rastojanjem r pokazuje korelaciju sa subjektivnim doživljajem akustičke percepcije prostora, zbog čega ovaj indeks koristi i u analizi govora.

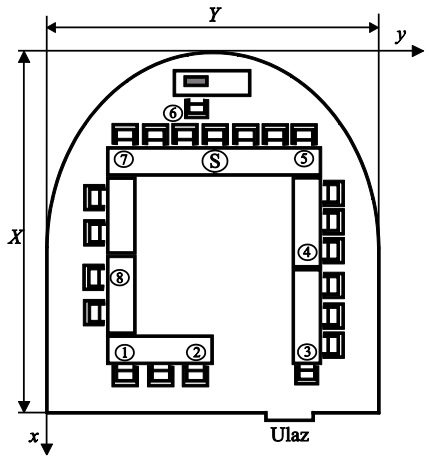
U cilju kvantitativnog sagledavanja ove povezanosti, Cabrera je primenio regresionu analizu zavisnosti C_{80} = f (r). Poseban značaj pridaje se nagibu regresionih linija, koji predstavlja numerički pokazatelj perceptivne karakteristike akustičkog prostora: sporije opadanje jasnoće sa rastojanjem (blaži nagib regresione linije) ukazuje na akustički "otvoreniji" prostor, dok brže opadanje (strmiji nagib regresionih linija) asocira na akustički "zatvoreniji" prostor.

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I ANALIZA

3.1 Eksperiment

Eksperiment je izvršen u prostoriji nastavničke kancelarije Saobraćajne – tehničke škole ''12. februar'' u Nišu i detaljno je objašnjen u [7].

Eksperimentalna merenja obuhvatila su snimanje RIR za svaku mernu poziciju prijemnika (MP) na određenom rastojanju od zvučnog izvora (Slika 1.). Obradom RIR u softverskom paketu EASERA dobijene su vrednosti vremena reverberacije RT_{30} i vrednosti indeksa jasnoće C_{80} za oktavne frekvencije 500 Hz i 1000 Hz, koje u daljem tekstu označavaju rezultate eksperimenta. Na osnovu istih vrednosti RT_{30} i parametara prostora, primenom BLp predikcionog modela izračunate su teorijske vrednosti indeksa jasnoće C_{80}. Radi kvantitativnog sagledavanja prostorne promene jasnoće



Slika 1. *Prikaz prostorije u kojoj je izvršen eksperiment: S - lokacija zvučnog izvora, 1 – 8 – MP prijemnika.*

govora izvršena je linearna regresiona analiza zavisnosti C_{80} = f (r) na selektovanim mernim tačkama prostorije, koje prate očekivani trend opadanja jasnoće sa rastojanjem. Kvalitet linearne regresione aproksimacije ocenjen je pomoću koeficijenta determinacije R^2. Ovakav pristup je omogućio direktnu komparaciju nagiba regresionih linija dobijenih teorijskim BLp modelom i eksperimentom, čime se ostvaruje kvantitativna procena perceptivnog doživljaja akustike prostora.

Eksperiment je realizovan za: MP = 8 (čiji je raspored prikazan na Slici 1.), M = 6 - broj merenja po jednoj MP, $N = MP \cdot M$ = 48 – ukupan broj merenja.

3.2 Rezultati

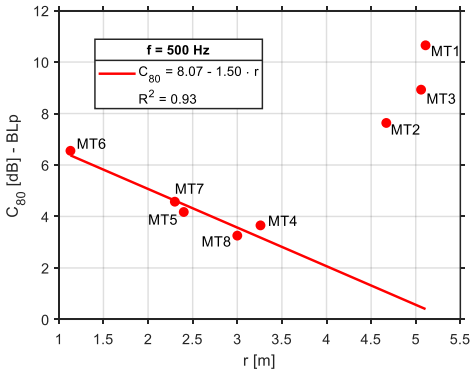
U Tabeli I prikazane su vrednosti RT_{30} i C_{80} za f = {500, 1000} Hz dobijene BLp modelom i eksperimentom u svakoj MP. Metode i rezultati regresione analize C_{80} = f (r) za f = {500, 1000} Hz date su u Tabeli II. Na Slikama 2. – 3. i 4. – 5. prikazane su linearne regresione analize zavisnosti C_{80} = f (r), dobijene primenom BLp modela i eksperimenta, za frekvencije 500 Hz i 1000 Hz, respektivno. Slike 6. – 7. ilustruju različite nagibe regresionih linija C_{80} = f (r) dobijenih BLp modelom i eksperimentom za frekvencije 500 Hz i 1000 Hz, respektivno.

Tabela I *Vrednosti RT_{30} i C_{80} za f = {500, 1000} Hz dobijene BLp modelom i eksperimentom u svakoj MP*

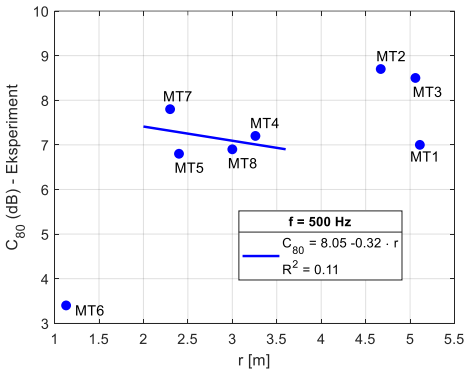
		RT_{30} (s)		C_{80} (dB)			
				500 (Hz)		1000 (Hz)	
MP	r (m)	500 (Hz)	1000 (Hz)	BLp	Ekspe-riment	BLp	Ekspe-riment
1	5.11	0.46	0.59	10.65	7	7. 9	9.2
2	4.67	0.61	0.72	7.64	8.7	6.08	9.6
3	5.06	0.535	0.77	8.93	8.5	5.45	8.4
4	3.26	1.01	0.79	3.65	7.2	5.62	6.5
5	2.4	1	0.77	4.17	6.8	6.34	4.9
6	1.13	1	0.8	6.55	3.4	8.54	7
7	2.3	0.96	0.77	4.57	7.8	6.43	6.6
8	3	1.08	0.77	3.26	6.9	5.96	7

Tabela II *Regresiona analiza C_{80} = f (r): metode i rezultati za f = {500, 1000} Hz*

Metoda	*f* (Hz)	Regresiona funkcija	Nagib regresione linije (dB/m)	Početna vrednost C_{80} (dB)
BLp	500	$C_{80} = 8.07 - 1.5 \cdot r$	- 1.5	8.07
Eksperiment	500	$C_{80} = 8.05 - 0.32 \cdot r$	– 0.32	8.05
BLp	1000	$C_{80} = 9.85 - 1.35 \cdot r$	- 1.35	9.85
Eksperiment	1000	$C_{80} = 8.31 - 1.10 \cdot r$	−1.10	8.31



Slika 2. *Linearna regresiona analiza zavisnosti $C_{80} = f(r)$ za 500 Hz dobijena primenom BLp modela*



Slika 3. *Linearna regresiona analiza zavisnosti $C_{80} = f(r)$ za 500 Hz dobijena primenom eksperimenta*

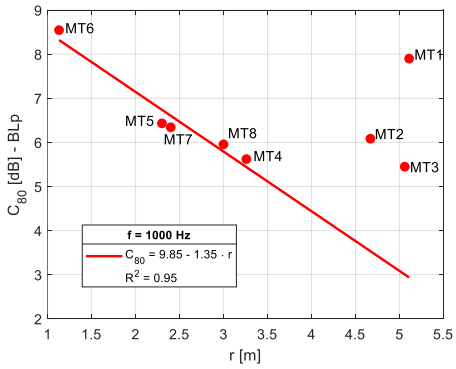
3.3 Analiza rezultata

Na osnovu rezultata prikazanih u Tabelama I - II i na Slikama 2. - 7. zaključuje se sledeće:

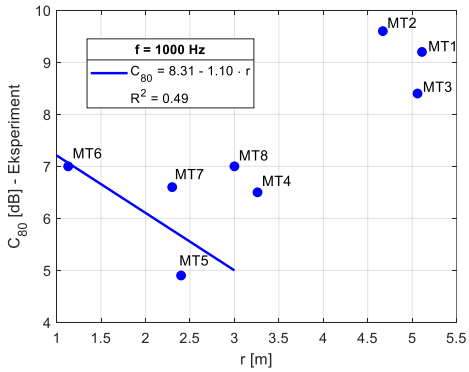
a) o prostornoj zavisnosti jasnoće govora C_{80}

Prema BLp modelu, očekuje se da sa porastom rastojanja od zvučnog izvora dolazi do smanjenja jasnoće govora usled promene odnosa energija E_{direct} i E_{early}, s jedne strane, i energije E_{late}, s druge strane. Na manjim rastojanjima energije E_{direct} i E_{early} imaju izraženiji doprinos ukupnom zvučnom polju, dok sa povećanjem rastojanja njihov doprinos slabi, čime energija E_{late} relativno postaje dominantnija u određivanju vrednosti C_{80}. Kao posledica ovakve promene raspodele energije, teorijski se predviđa opadajući trend C_{80} sa porastom rastojanja, sa približno logaritamskim karakterom [1].

Rezultati prikazani u Tabeli I pokazuju da očekivano ponašanje jasnoće govora u funkciji rastojanja nije jednoznačno prisutno za sve MP u poluovalnoj akustički tretiranoj prostoriji. Ipak, moguće je izdvojiti MP kod kojih se



Slika 4. *Linearna regresiona analiza zavisnosti $C_{80} = f(r)$ za 1000 Hz dobijena primenom BLp modela*



Slika 5. *Linearna regresiona analiza zavisnosti $C_{80} = f(r)$ za 1000 Hz dobijena primenom eksperimenta*

uočava opadajući trend C_{80} sa porastom rastojanja, pri čemu se on razlikuje u zavisnosti od frekvencijskog opsega kao i od toga da li se posmatraju rezultati BLp modela ili eksperimenta. Konkretno:

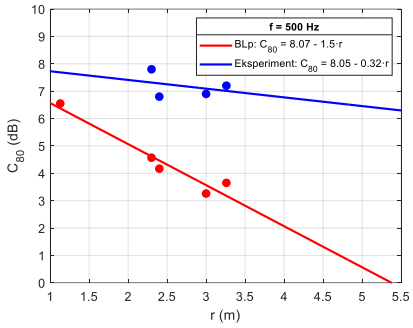
- za *f* = 500 Hz izdvojene MP se kod BLp modela, nalaze na rastojanjima $r = 1.13 \div 3.26$ m pri čemu odgovarajuće vrednosti jasnoće govora opadaju, $C_{80} = 6.55 \div 3.65$ dB, dok se kod eksperimentalnih rezultata ove MP nalaze na rastojanjima $r = 2.3 \div 3.6$ m sa vrednostima $C_{80} = 7.8 \div 6.8$ dB;
- za *f* = 1000 Hz, kod BLp modela MP koje prate očekivano ponašanje obuhvataju rastojanja $r = 1.13 \div 3.26$ m sa vrednostima $C_{80} = 8.54 \div 5.62$ dB dok eksperimentalni podaci pokazuju opadajući trend na rastojanjima $r = 1.13 \div 2.4$ m, uz vrednosti $C_{80} = 7 \div 4.9$ dB.

Nasuprot tome, za preostale MP uočavaju se značajna odstupanja od teorijski očekivanog ponašanja, pri čemu se na pojedinim rastojanjima javljaju lokalni porasti vrednosti C_{80} ili znatno veće rasipanje, naročito u oktavnom opsegu od 500 Hz. Ovakva odstupanja mogu se dovesti u vezu sa nepravilnom geometrijom analizirane prostorije i položajem reflektujućih površina u odnosu na izvor i MP, što dovodi do pojave lokalno dominantnih ranih refleksija i narušava idealizovano prostorno ponašanje jasnoće govora.

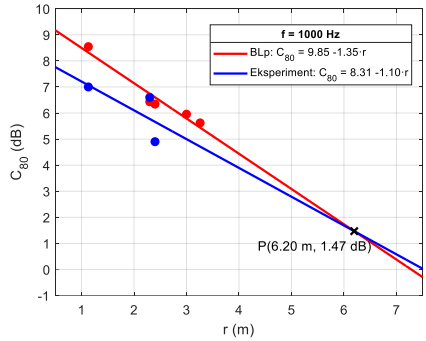
b) o regresionoj analizi jasnoće govora C_{80}

Regresiona analiza $C_{80} = f(r)$ sprovedena je na osnovu MP koje pokazuju očekivano smanjenje C_{80} sa porastom

rastojanja, pri čemu je analiza izvršena odvojeno za svaki frekvencijski opseg, kao i posebno za BLp model i



Slika 6. *Linearna regresiona analiza zavisnosti $C_{80} = f(r)$ dobijena primenom BLp modela i eksperimenta za 500 Hz*



Slika 7. *Linearna regresiona analiza zavisnosti $C_{80} = f(r)$ dobijena primenom BLp modela i eksperimenta za 1000 Hz*

eksperimentalne podatke. Konkretno (Tabela II i Slike 2. – 5.):

- za f = 500 Hz: početne vrednosti C_{80} dobijene BLp modelom i eksperimentom su gotovo identične: 8.07 dB i 8.05 dB, respektivno. Nagib regresione linije dobijene BLp modelom (-1.5 dB/m) znatno je veći od nagiba regresione linije dobijene eksperimentom (- 0.32 dB/m). Ovo ukazuje na bržu degradaciju jasnoće dobijene BLp modelom, dok eksperimentalni rezultati potvrđuju da prostor u realnim uslovima zadržava veći stepen jasnoće i perceptivno se doživljava otvorenijim.
- za f=1000 Hz: početne vrednosti C_{80} dobijene BLp modelom i eksperimentalnim merenjima se razlikuju: 9.97 dB i 8.31 dB, respektivno. Nagib regresione linije dobijene BLp modelom (−1.47 dB/m) u većoj meri odgovara nagibu regresione linije dobijene eksperimentom (−1.10 dB/m) što pokazuje bolju saglasnost modela i merenja nego na 500 Hz. Manje rasipanje podataka ukazuje na stabilniju zavisnost jasnoće govora od rastojanja, što ovaj frekvencijski opseg čini pogodnijim za kvantitativnu procenu prostorne raspodele jasnoće govora. Ovakvi rezultati ukazuju da oba pristupa daju sličnu percepcijsku interpretaciju akustičkog prostora, ali nešto strmiji nagibi BLp modela asociraju na "zatvoreniji", dok blaži nagibi eksperimentalnih merenja asociraju na "otvoreniji" doživljaj prostora.
- za f = {500, 1000} Hz, BLp model daje visoke vrednosti R^2 = {0.93, 0.95}, što potvrđuje stabilnu zavisnost C_{80} = f (r), dok znatno niže eksperimentalne vrednosti R^2 = {0.11, 0.49} ukazuju na izraženo rasipanje podataka i uticaj lokalnih prostornih efekata, naročito pri nižim frekvencijama.

c) o preseku regresionih linija na 1000 Hz (Slika 7.)

Presečna tačka regresionih linija dobijenih BLp modelom i eksperimentalnim merenjima je (r = 4.46 m, $C_{80} \approx$ 3.38 dB). $r \approx$ 4.46 m se može smatrati referentnom udaljenošću perceptivne ravnoteže analizirane poluovalne prostorije, jer predstavlja tačku u kojoj se teorijska predikcija i eksperimentalno određena vrednost indeksa jasnoće govora međusobno podudaraju: $C_{80} \approx$ 3.38 dB. Ovo ukazuje na podudarnost teorijske predikcije i eksperimentalnog pristupa u opisu akustičkog prostora, čime se potvrđuje da regresiona analiza adekvatno odražava perceptivne karakteristike prostora.

4. ZAKLJUČAK

Ovaj rad potvrđuje da regresiona analiza indeksa jasnoće govora omogućava kvantitativan uvid u akustičku percepciju prostora i otvara mogućnost objektivnog poređenja teorijskog modela i eksperimentalnih merenja. Nagibi regresionih linija C_{80} = f (r) pokazali su se kao pouzdan indikator subjektivnog doživljaja akustičkog prostora. Presečna tačka regresionih linija dobijenih teorijskom predikcijom i eksperimentalnim merenjima može se tumačiti kao karakteristično rastojanje ravnoteže akustičke percepcije prostora, odnosno kao referentna tačka u kojoj se teorijski i eksperimentalni pristupi međusobno podudaraju.

Kombinovanje predikcionih modela i eksperimenata pruža značajan doprinos razumevanju akustičke percepcije prostora i, samim tim, unapređenju akustičkog projektovanja prostora namenjenih govoru.

LITERATURA

[1] M. Barron and L. – J. Lee, "Energy relations in concert auditoria," J. Acoust. Soc. Am., vol. 84, pp. 618 – 628, 1988.

[2] D. Cabrera "Improving clarity prediction using early/late energy ratios," Proceedings of the ICA, 1990s.

[3] H. Kuttruff, "Room Acoustics", 5th ed., Boca Raton: CRC Press, 2009.

[4] EASERA Manual, "Electronic and Acoustic System Evaluation and Response Analysis" AFMG, Berlin, Germany.

[5] The MathWorks, MATLAB, Version R2022b, Natick, MA, USA.

[6] ISO 3382-1:2009, "Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 1: Performance spaces", International Organization for Standardization, Geneva, 2009.

[7] V. Stojanović, Z. Milivojević, S. Dimitrijević, "The Acoustic Analisys of a Single Room", XLIX International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies ICEST 2014, 25-27 June 2014, Niš, Serbia.

INTEGRISANI RIZIK OD ŠUMSKIH POŽARA U NIŠAVSKOM OKRUGU
INTEGRATED WILDFIRE RISK MAP FOR THE NIŠAVA DISTRICT

Nemanja Petrović i Natalija Petrović

Sadržaj – Granica naselja i šumskih i otvorenih površina predstavlja prostor povećane osetljivosti na šumske požare, jer se u njoj neposredno prepliću prirodni pokrivač, stanovništvo i izgrađena struktura. U radu je prikazan pristup integrisanoj proceni rizika od šumskih požara u Nišavskom okrugu, zasnovan na objedinjavanju opasnosti, izloženosti i ranjivosti u jedinstven prostorni model. Opasnost je definisana na osnovu istorijskih opožarenih površina, izloženost na osnovu raspodele stanovništva, a ranjivost kombinovanjem vegetacionog pokrivača i nagiba terena. Posebna pažnja posvećena je zoni dodira naselja i vegetacije, kao prostoru od povećanog operativnog značaja. Integrisani indeks rizika formiran je ponderisanjem navedenih komponenti i klasifikovan u pet razreda. Rezultati pokazuju da se viši razredi rizika dominantno izdvajaju u ivičnim delovima naselja koji su u kontaktu sa šumskim i otvorenim površinama, kao i na terenima sa izraženijim nagibom. Dobijeni prostorni obrazac omogućava izdvajanje zona od posebnog operativnog prioriteta i može se koristiti u planiranju preventivnih mera, organizaciji pristupnih pravaca, definisanju vatrogasnih tačaka i usmeravanju informisanja stanovništva..

Ključne reči: šumski požari, integrisani rizik, opasnost, izloženost, ranjivost, mapa rizika.

Abstract – The boundary between settlements and forested or semi-natural areas represents a spatially sensitive zone with respect to wildfire occurrence, as natural cover, population and built structures directly intersect within it. This paper presents an approach to integrated wildfire risk assessment for the Nišava District based on the combination of hazard, exposure and vulnerability within a single spatial model. Hazard is derived from historical burned-area patterns, exposure from population distribution, and vulnerability from the combined influence of vegetation cover and terrain slope. Particular attention is given to the wildland–urban interface as a zone of increased operational importance. The integrated risk index is formed through weighted aggregation of the three components and subsequently classified into five categories. The results indicate that higher risk classes are predominantly concentrated in the peripheral parts of settlements that are in contact with forest and semi-natural vegetation, as well as on steeper terrain. The resulting spatial pattern enables the identification of areas of increased operational priority and may support the planning of preventive measures, the organization of access routes and firefighting points, and targeted public awareness activities..

Keywords: wildfire, integrated risk, hazard, exposure, vulnerability, risk map.

1. UVOD

Granica naselja i šumskih površina predstavlja prostor povećane osetljivosti na šumske požare, jer se u njoj neposredno prepliću prirodni pokrivač, stanovništvo i izgrađena struktura [1], [2]. U takvim uslovima rizik od šumskih požara određuju tri međuzavisne komponente: opasnost, izloženost i ranjivost. Opasnost se odnosi na verovatnoću pojave požara i uslove koji pogoduju njegovom nastanku i širenju, izloženost obuhvata prisustvo ljudi i imovine u ugroženom prostoru, dok ranjivost zavisi od fizičkih i funkcionalnih karakteristika prostora, kao što su reljef, vegetacioni pokrivač i otpornost prostora na posledice požara [1], [3].

U savremenoj literaturi i praksi upravljanja požarima poseban značaj ima zona dodira naselja i divlje vegetacije, jer upravo u toj zoni dolazi do direktnog kontakta požara sa naseljima, objektima i infrastrukturom [2], [4].

Nemanja Petrović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: nemanja.petrovic@akademijanis.edu.rs).

Natalija Petrović, Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija - Odsek Niš, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš (imejl: natalija.petrovic@akademijanis.edu.rs).

Ovaj prostor je prepoznat kao jedan od važnih obrazaca savremenog požarnog rizika, budući da se upravo na toj granici najjasnije ispoljavaju posledice širenja požara prema naseljenim područjima [4].

Zbog toga analiza rizika koja uključuje prostorni odnos naselja i vegetacije omogućava pouzdanije izdvajanje delova prostora koji zahtevaju prioritetne mere zaštite.

Cilj ovog rada je formiranje integrisane karte rizika od šumskih požara u Nišavskom okrugu, sa posebnim fokusom na zonu dodira naselja i vegetacije. U radu se integrišu istorijski podaci o opožarenim površinama, raspodela stanovništva, reljefne karakteristike i prostorni odnos izgrađenih i vegetacionih površina, kako bi se izdvojile zone povećanog rizika i prostori od posebnog operativnog značaja. Takva karta može predstavljati osnovu za planiranje zaštitnih pojaseva, usmeravanje preventivnih mera, organizaciju pristupnih pravaca i vatrogasnih tačaka, kao i za ciljano informisanje stanovništva [5], [6].

Osnovu istraživanja čine javno dostupni evropski skupovi podataka. Istorijski požari preuzeti su iz Evropskog informacionog sistema za šumske požare, koji obezbeđuje perimetre opožarenih površina i godišnje izveštaje o stanju požara u Evropi [5].

U nastavku rada prikazani su korišćeni podaci i metodologija izrade integrisanog indeksa rizika, zatim

rezultati prostorne analize i njihovo tumačenje sa aspekta operativne primene, a na kraju su dati zaključci i preporuke za dalje unapređenje modela.

2. METODOLOGIJA

Rad se zasniva na integraciji više javno dostupnih prostornih skupova podataka koji omogućavaju istovremeno sagledavanje opasnosti, izloženosti i ranjivosti u prostoru. Osnovu analize čine istorijski podaci o opožarenim površinama, raspodela stanovništva, karakteristike vegetacionog pokrivača, reljefne odlike terena i prostorni odnos izgrađenih i prirodnih površina [5]–[9]. Svi podaci su prethodno usklađeni na jedinstven prostorni okvir kako bi se omogućilo njihovo međusobno poređenje i integracija u jedinstven indeks rizika.

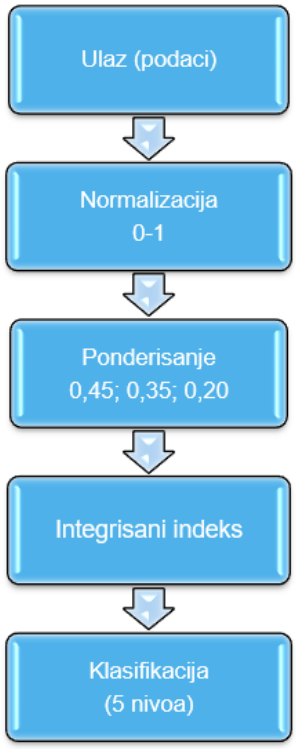
Komponenta opasnosti definisana je na osnovu istorijskih požara preuzetih iz Evropskog informacionog sistema za šumske požare. Ovaj skup podataka sadrži perimetre opožarenih površina i omogućava sagledavanje prostorne raspodele požara na teritoriji Evrope [5], [10]. U okviru rada istorijski požari posmatrani su kao empirijska osnova za identifikaciju prostora u kojima je opasnost od pojave požara već potvrđena u prethodnom periodu. Na osnovu ovih podataka formiran je sloj koji ukazuje na prostornu blizinu istorijski registrovanih požara, čime su izdvojene zone sa izraženijom opasnošću.

Izloženost je određena korišćenjem podataka o raspodeli stanovništva iz Globalnog sloja ljudskih naselja, u prostornoj rezoluciji od 100 metara [6]. Ovaj sloj omogućava procenu intenziteta prisustva stanovništva u prostoru i predstavlja osnovu za sagledavanje potencijalnog obima ugroženosti ljudi i imovine. U okviru istraživanja izloženost je tretirana kao prostorna komponenta koja ukazuje na to gde se nalaze naseljeni delovi prostora i gde bi eventualne posledice požara mogle imati najveći društveni značaj.

Ranjivost je formirana na osnovu dve grupe pokazatelja. Prvu grupu čini vegetacioni pokrivač, analiziran na osnovu baze Corine Land Cover 2018 [8]. U radu su kao posebno značajne izdvojene klase koje pripadaju šumskim i poluprirodnim površinama, jer predstavljaju prostorni okvir u kome je prisutna kontinualna vegetaciona biomasa pogodna za širenje požara. Drugu grupu pokazatelja čine reljefne karakteristike terena, pre svega nagib, izveden iz digitalnog modela elevacije Copernicus [9]. Nagib je uključen u analizu jer utiče na dinamiku širenja požara i na operativnu složenost intervencije na terenu. Kombinovanjem podataka o vegetacionom pokrivaču i nagibu dobijen je sloj ranjivosti koji odražava prostorne predispozicije prostora za nastanak izraženijih posledica.

Poseban segment metodologije odnosi se na izdvajanje zone dodira naselja i vegetacije. U tu svrhu korišćen je sloj Urban Atlas 2018 za funkcionalno urbano područje Niša [7]. U analizi se izgrađene površine dovode u prostorni odnos sa šumskim i prirodnim vegetacionim pokrivačem, a zona dodira razdvaja se na dve podzone: direktni kontakt, koji obuhvata izgrađene ćelije koje neposredno graniče sa šumom, i indirektni kontakt, koji obuhvata ćelije u njihovom bližem okruženju. Dobijene konture koriste se kao interpretativni sloj za tumačenje rezultata i za izdvajanje prostora od preliminarnog operativnog prioriteta. Na ovaj način zona dodira naselja i vegetacije ne predstavlja poseban indikator rizika, već prostorni okvir kroz koji se dobijeni rezultati dodatno objašnjavaju [2], [4].

Nakon pripreme ulaznih slojeva, sve komponente su prevedene na zajedničku numeričku skalu, kako bi se mogle objediniti u jedinstven model. U skladu sa teorijskim okvirom procene rizika, integrisani indeks formiran je kao ponderisana kombinacija opasnosti, izloženosti i ranjivosti [1], [3]. Na slici 1 prikazan je postupak formiranja integrisanog indeksa rizika od šumskih požara.



Slika 1. *Šematski prikaz postupka formiranja integrisanog indeksa rizika od šumskih požara*

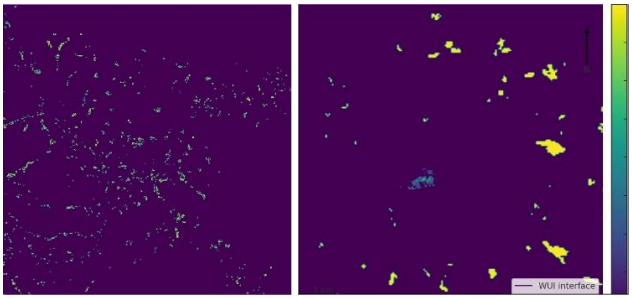
Kao što je i prikazano na slici 1, najveća težina dodeljena je opasnosti (0,45), zatim izloženosti (0,35), dok je ranjivosti dodeljena težina 0,20. Takav odnos težina polazi od pretpostavke da istorijsko prisustvo požara i koncentracija stanovništva imaju najveći značaj u inicijalnom izdvajanjy prioritetnih zona, dok reljef i vegetacioni pokrivač dodatno modifikuju prostorni obrazac rizika.

Na osnovu navedenog postupka formiran je integrisani indeks rizika od šumskih požara, koji je potom klasifikovan u pet razreda: veoma nizak, nizak, umeren, visok i veoma visok rizik. Ovakva klasifikacija omogućava jasniju kartografsku interpretaciju rezultata i lakše izdvajanje prostora koji zahtevaju dodatnu pažnju u planiranju zaštite i organizaciji terenskih mera. U završnoj fazi rezultati su upoređeni sa konturama zone dodira naselja i vegetacije, kako bi se izdvojili prostori u kojima se visoki razredi integrisanog indeksa

poklapaju sa kritičnim kontaktnim zonama. Time je metodološki okvir rada zaokružen od ulaznih podataka, preko formiranja pojedinačnih komponenti, do konačne integrisane karte rizika.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na slici 2 prikazani su prostorni rezultati sprovedene analize. Na slici 2(a) izdvojena je zona dodira naselja i vegetacije, odnosno prostor u kome se izgrađene površine nalaze u neposrednom ili širem kontaktu sa šumskim i prirodnim vegetacionim pokrivačem. Ovaj prikaz omogućava da se jasno identifikuju delovi prostora u kojima postoji povećana verovatnoća prostornog susreta požara i naseljenih površina, što ove zone čini posebno značajnim sa aspekta operativne osetljivosti [2], [4].



a) b)

Slika 2. *Prostorna raspodela: a) zona dodira naselja i vegetacije, b) integrisani rizik od šumskih požara*

Na slici 2(b) prikazan je integrisani indeks rizika od šumskih požara, formiran objedinjavanjem komponente opasnosti, izloženosti i ranjivosti. Karta pokazuje da se viši razredi rizika ne raspoređuju ravnomerno, već se grupišu u određenim delovima analiziranog prostora. Takav obrazac ukazuje na to da rizik nije rezultat delovanja samo jednog faktora, već da nastaje kroz prostorno preklapanje istorijske pojave požara, prisustva stanovništva i prostorne ranjivosti uslovljene reljefom i vegetacionim pokrivačem [1], [3], [5].

Posebna vrednost dobijenih rezultata ogleda se u njihovom međusobnom tumačenju. Kada se prostorni raspored viših razreda integrisanog rizika posmatra u odnosu na zonu dodira naselja i vegetacije, postaje moguće pouzdanije izdvojiti delove prostora koji imaju povećan operativni značaj. Reč je pre svega o rubnim zonama naselja usmerenim ka šumskim i poluprirodnim površinama, kao i o prostorima u kojima reljef i vegetacioni pokrivač dodatno povećavaju potencijal za širenje požara i otežano delovanje na terenu [8], [9].

Dobijeni rezultati potvrđuju da zona dodira naselja i vegetacije ne predstavlja samo prostorni kontakt dve različite kategorije korišćenja zemljišta, već i prostor u kome se najdirektnije ukrštaju prirodni hazard i društvena izloženost. Upravo zbog toga ovi delovi prostora imaju poseban značaj u planiranju zaštite, jer mogu predstavljati prioritet za preventivne i operativne mere, kao što su zaštitni pojasevi, prorede, organizacija pristupnih pravaca, definisanje vatrogasnih tačaka i planiranje sigurnih izvora vode za gašenje [5], [6], [10].

U tabeli 1 prikazan je interpretativni okvir koji povezuje tip prostornog obrasca sa njegovim praktičnim značajem u planiranju mera zaštite.

Tabela I *Operativno tumačenje prostornih obrazaca integrisanog rizika od šumskih požara*

Prostorni obrazac	Značenje u analizi	Operativni značaj
Zona dodira naselja i vegetacije	Prostor neposrednog kontakta izgrađenih i vegetacionih površina	Povećana osetljivost na širenje požara ka naselju
Viši razredi integrisanog rizika	Delovi prostora u kojima se preklapaju opasnost, izloženost i ranjivost	Prioritet u planiranju mera zaštite
Preklapanje višeg rizika i zone dodira	Kritični segmenti analiziranog područja	Zaštitni pojasevi, proredi, pristupni pravci, vatrogasne tačke
Rizični prostori sa izraženijim nagibom	Prostor otežanih uslova za intervenciju	Potreba za posebnim planiranjem pristupa i organizacije delovanja

Podaci prikazani u tabeli 1 potvrđuju da se operativni značaj izdvojenih prostora ne zasniva samo na visini integrisanog indeksa rizika, već i na njihovom prostornom odnosu sa zonom dodira naselja i vegetacije. Posebno su značajni oni delovi prostora u kojima se viši razredi rizika poklapaju sa kontaktnim i rubnim zonama naselja, jer upravo takvi segmenti predstavljaju najosetljivije tačke sa aspekta preventivnog i operativnog delovanja. U tom smislu, integrisana analiza omogućava da se rizik ne posmatra apstraktno, već kroz konkretne prostorne obrasce koji mogu biti neposredno uključeni u planiranje zaštitnih mera i organizaciju intervencija.

Na taj način, dobijeni rezultati predstavljaju pouzdanu osnovu za dalje unapređenje lokalnih modela procene rizika i za praktično usmeravanje mera zaštite od šumskih požara u prostoru.

4. ZAKLJUČAK

Ovaj rad ukazuje na to da se rizik od šumskih požara može pouzdano sagledati kroz objedinjavanje opasnosti, izloženosti i ranjivosti u jedinstven prostorni model. Dobijeni rezultati potvrđuju da se zone povećanog rizika ne izdvajaju nasumično, već se uglavnom vezuju za rubne delove naselja u kontaktu sa šumskim i poluprirodnim površinama, kao i za prostore u kojima reljef i vegetacioni pokrivač dodatno pogoduju širenju požara i otežavaju operativno delovanje.

Posebna vrednost rada ogleda se u tome što integrisana karta rizika ne predstavlja samo analitički rezultat, već i osnovu za praktično usmeravanje mera zaštite. Na osnovu

izdvojenih obrazaca moguće je preciznije definisati prioritete u planiranju zaštitnih pojaseva, proreda, pristupnih pravaca, vatrogasnih tačaka, izvora vode za gašenje i programa informisanja stanovništva. Time se potvrđuje da se primenom javno dostupnih i metodološki usklađenih evropskih prostornih podataka može razviti pregledan i primenljiv model koji ima neposredan značaj za planiranje i upravljanje rizikom.

Doprinos rada je dvostruk. U metodološkom smislu pokazano je da se na osnovu otvorenih podataka o istorijskim požarima, raspodeli stanovništva, vegetacionom pokrivaču i reljefu može formirati integrisani indeks rizika koji daje jasnu sliku prostorne ugroženosti. U praktičnom smislu, dobijeni rezultati predstavljaju osnovu za izdvajanje prostora od posebnog operativnog značaja i za podršku donošenju odluka u oblasti zaštite od šumskih požara.

Iako je pristup pokazao dobru primenljivost, njegovo dalje unapređenje podrazumeva uključivanje detaljnijih lokalnih podataka o intervencijama, opožarenim površinama i stvarnim uslovima na terenu, kao i mogućnost buduće kalibracije težina pojedinih komponenti rizika. Na taj način integrisani model može postati još pouzdaniji alat za procenu rizika i planiranje mera zaštite, ne samo u Nišavskom okrugu, već i u drugim teritorijama sa sličnim prostornim i funkcionalnim karakteristikama.

LITERATURA

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change, The Concept of Risk in the IPCC Sixth Assessment Report. Geneva, Switzerland: IPCC, 2021. [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/01/The-concept-of-risk-in-the-IPCC-Sixth-Assessment-Report.pdf

[2] V. C. Radeloff, D. P. Helmers, H. A. Kramer, M. H. Mockrin, P. M. Alexandre, A. Bar-Massada, V. Butsic, T. J. Hawbaker, S. Martinuzzi, A. D. Syphard, and S. I. Stewart, "Rapid growth of the US wildland-urban interface raises wildfire risk," Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 115, no. 13, pp. 3314–3319, 2018, doi: 10.1073/pnas.1718850115.

[3] Intergovernmental Panel on Climate Change, "Determinants of Risk: Exposure and Vulnerability," in Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2012. [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap2_FINAL-1.pdf

[4] F. Schug, A. Bar-Massada, A. R. Carlson, H. Cox, C. Makowski, S. C. Starns, N. A. Drury, D. L. Helmers, A. D. Syphard, T. J. Hawbaker, S. I. Stewart, and V. C. Radeloff, "The global wildland–urban interface," Nature, vol. 621, no. 7977, pp. 94–99, 2023, doi: 10.1038/s41586-023-06320-0.

[5] Copernicus Emergency Management Service, European Forest Fire Information System: Data and Services. European Commission, Joint Research Centre, 2026. [Online]. Available: https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/applications/data-and-services

[6] M. Schiavina, S. Freire, A. Carioli, and K. MacManus, GHS-POP R2023A – GHS Population Grid Multitemporal (1975–2030). Luxembourg: Publications Office of the European Union, European Commission, Joint Research Centre, 2023. doi: 10.2905/2FF68A52-5B5B-4A22-8F40-C41DA8332CFE.

[7] Copernicus Land Monitoring Service, Urban Atlas 2018. European Environment Agency and European Commission, 2026.[Online].Available: https://land.copernicus.eu/en/products/urban-atlas/urban-atlas-2018

[8] Copernicus Land Monitoring Service, Corine Land Cover. European Environment Agency and European Commission, 2026. [Online]. Available: https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover

[9] Copernicus Programme, Copernicus Digital Elevation Model (Copernicus DEM). European Space Agency and European Commission, 2026. [Online]. Available: https://dataspace.copernicus.eu/explore-data/data-collections/copernicus-contributing-missions/collections-description/COP-DEM

[10] Joint Research Centre, European Commission, Current Wildfire Situation in Europe. Seville, Spain: European Commission, 2026. [Online]. Available: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/projects-and-activities/natural-and-man-made-hazards/forest-fires/current-wildfire-situation-europe_en

