

teSi 2026

Zbornik radova XV konferencije
sa međunarodnim učešćem

Ulaganje u budućnost

Konferencija o TEhnikama Saobraćajnog Inženjerstva



Univerzitet u Beogradu
Saobraćajni fakultet

Hotel Mona, Zlatibor,
15-17. okt. 2026.

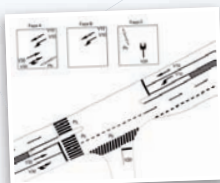
Od jedne raskrsnice do cele mreže...

Pametno upravljanje saobraćajem



Rešenja ELCOM BGD tima predstavljena u četiri stručna rada

Veštačka inteligencija u upravljanju raskrsnicom



AI kontrola

Fazi logika i *Transformer Neuronska Mreža*¹ odlučuju o produženju ili prekidu faze u realnom vremenu

6-12% manji vremenski gubici u odnosu na standardne algoritme upravljanja



Provereno na SUMO modelu realne raskrsnice u Kragujevcu – Grošnica

Video analiza saobraćaja – od kamere do podataka



ONLINE – obrada podataka u realnom vremenu: detekcija i klasifikacija vozila, dužina reda, brzina, vreme zadržavanja



OFFLINE – analiza snimka sa drona ili kamere: trajektorije, heatmap-e zauzeća, izvorno-ciljne matrice

Alternativna svetlosna signalizacija

Izmenjiva srednja traka preraspodeljuje kapacitet između smerova – bez građevinskih intervencija



Ulica Teodora Drajzera, Beograd: srednja traka preuzima ~25% dnevnog protoka u jednom i 21% u drugom smeru

Kontrolisan fazni prelaz uz proveru zauzetosti srednje trake – najvažniji bezbednosni aspekt



... sledeći korak: **dinamičko upravljanje** prema detektovanim uslovima

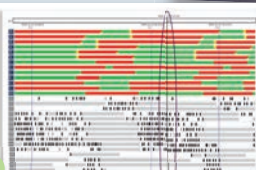
PTV Balance – adaptibilno upravljanje mrežom

od Kotora... ... do Beograda

Koordinisan rad grupe raskrsnica u zoni ili koridoru: ciklus, zelena vremena i pomaci prate zahtev u realnom vremenu



Integracija sa PTV Visum i PTV Vissim: parametri birani minimizacijom PI indeksa u simulaciji



SAUS 2.0 – monitoring rada kontrolera i efekata upravljanja na jednom mestu

ELCOM BGD / SMART LIGHT

u saradnji sa
Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac
Saobraćajni fakultet, Beograd



Neka bude svetlost,
ali pametna

¹ PPO – Treniranje je zasnovano na Proximal Policy Optimization metodi • PI – Performance Index • SAUS 2.0 – centralni nadzorni softver ELCOM BGD



ЗНАЊЕМ ДО БЕЗБЕДНИЈИХ ПУТЕВА

С ПРОЈЕКТ ДОО

ПРЕДУЗЕЋЕ ЗА САОБРАЋАЈ И ЕКОНОМИЈУ,
ИНФОРМАТИКУ И ПРОЈЕКТОВАЊЕ,
ИНЖЕЊЕРИНГ И КОНСАЛТИНГ

📍 Ул. Ђорђа Станојевића 11ђ, 11070 Београд

✉ e-mail: office@s-projekt.rs

🌐 web: www.s-projekt.rs

БОЉА ПОВЕЗАНОСТ БЕЗБЕДНИЈА БУДУЋНОСТ

Предузеће С ПРОЈЕКТ се бави израдом пројеката саобраћајне сигнализације и опреме, пословима из области безбедности саобраћаја, путне информатике, саобраћајних студија, студија оправданости изградње путева, студија процене вредности путне и уличне мреже, надзора радова, техничке контроле, као и многих других послова из области саобраћаја.



Саобраћајна
сигнализација



Безбедност
саобраћаја



Путна
информатика



Пројектовање



Студије



Консалтинг



У склопу широке лепезе својих активности предузеће посебну пажњу посвећује развоју и унапређењу путне информатике као основе за послове планирања, одржавања и управљања путном и уличном мрежом. Снимање података на терену врши се мерном опремом развијеном у оквиру предузећа и са њом је могуће вршити истовремено динамичко мерење стационаже пута, GPS путање пута и формирање геореференцираног видео записа пута са 4 камере високе резолуције (4K камере).



Снимањем путева добијају се подаци потребни за израду **Референтног система** мреже путева и улица као и за потребе саобраћајног пројектовања и провере безбедности саобраћаја.

БОЉА
ПОВЕЗАНОСТ
БЕЗБЕДНИЈА
БУДУЋНОСТ



Unlock the power of your city

Discover the portfolio that empowers you to
optimize mobility for humanity

Modeling &
Planning



Multimodal macro and microscopic modeling and simulation, and visualization software.

Management &
Prediction



Data and AI-driven monitoring, prediction, decision-support, and traffic management software.

Onsite Traffic
Infrastructure



Cutting-edge cabinets, controllers, sensors, and professional services.

PTV GROUP

part of Umovity

KONFERENCIJA SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM



XV konferencija o TEhnikama Saobraćajnog Inženjerstva

ZBORNİK RADOVA

ORGANIZATOR:

UNIVERZITET U BEOGRADU
SAOBRAĆAJNI FAKULTET

Generalni sponzor:

YUNEX traffic

UZ PODRŠKU:

Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija

ZLATIBOR, 15 - 17. OKTOBAR 2026.

YUNEX
TRAFFIC

ZBORNİK RADOVA: XV KONFERENCIJA O TEHNIKAMA SAOBRAĆAJNOG INŽENJERSTVA

UREDNIK:	Prof. dr Nikola Čelar, Saobraćajni fakultet Beograd
ZA IZDAVAČA:	dr Milorad Kilibarda, dekan
GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK:	dr Mirjana Bugarinović
IZDAVAČ:	Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, 11010 Beograd, www.sf.bg.ac.rs; telefon: 011 30 96 207
PRIPREMA:	Vladimir Đorić, Dragana Petrović i Izdavačka delatnost Saobraćajnog fakulteta; idsf@sf.bg.ac.rs; telefon: 3091 344; (skriptarnica) sfknjige@sf.bg.ac.rs;
ŠTAMPA:	Birograf Comp DOO, Atanasija Pulje 22, 11080 Beograd; www.birograf.rs; telefon: 011 307 50 55
TIRAŽ:	250
DOI	https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673955223/TESi.2026.DR
ISBN 978-86-7395-522-3	Svi radovi u zborniku su kategorisani kao stručni Autori su saglasni sa CC-BY licencom
GODINA IZDAVANJA:	2026.

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

656.1(082)

625.7(082)

КОНФЕРЕНЦИЈА о техникама саобраћајног инжењерства (15 ; 2026 ; Златибор)

Konferencija sa međunarodnim učešćem TESI : zbornik radova / XV konferencija o tehnikama saobraćajnog inženjerstva, Zlatibor, 15 - 17. OKTOBAR 2026. ; organizator Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet ; [urednik Nikola Čelar]. - Beograd : Univerzitet, Saobraćajni fakultet, 2026 (Beograd : Birograf Comp). - 462 str. : ilustr. ; 24 cm

Tekst ćir. i lat. - Tiraž 250. - Napomene uz radove. - Bibliografija uz svaki rad. - Rezime na engl. jeziku uz svaki rad.

ISBN 978-86-7395-522-3

a) Друмски саобраћај -- Зборници b) Путеви -- Зборници

COBISS.SR-ID 202553865

PREDSEDAVAJUĆI KONFERENCIJE

Prof. dr Nikola Čelar, dis

REDAKCIONI I PROGRAMSKI ODBOR

Prof. dr Nikola Čelar, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija, Predsednik
 Doc. dr Jelena Kajalić, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Doc. dr Stamenka Stanković, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Prof. dr Vladimir Đorić, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Prof. dr Ivan Ivanović, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Prof. dr Dragana Petrović, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Prof. dr Vladan Tubić, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Prof. dr Draženko Glavić, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Prof. dr Marijo Vidas, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Prof. dr Ana Trpković, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Prof. dr Marina Milenković, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Doc. dr Nemanja Stepanović, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Prof. dr Jelena Simičević, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Doc. dr Vladimir Čuljković, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Doc. dr Sanja Fric, Građevinski fakultet Beograd, Srbija
 Prof. dr Vuk Bogdanović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
 Prof. dr Valentina Mirović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
 Prof. dr Marko Subotić, Saobraćajni fakultet Dobo, Bosna i Hercegovina
 Prof. dr Luka Novačko, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb
 Prof. dr Jasmina Bunevska Talevska, Tehnički fakultet Bitola, Severna Makedonija
 Prof. dr Osman Lindov, Fakultet za saobraćaj i komunikacije u Sarajevu, BiH
 Prof. dr Mustafa Mehanović, Fakultet za saobraćaj i komunikacije u Sarajevu, BiH

ORGANIZACIONI ODBOR

Prof. dr Vladimir Đorić, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija, Predsednik
 Prof. dr Ivan Ivanović, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Doc. dr Jelena Kajalić, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Doc. dr Stamenka Stanković, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Prof. dr Dragana Petrović, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Jelica Komarica, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija
 Tijana Nikolić, Saobraćajni fakultet Beograd, Srbija

SADRŽAJ

<i>Plenarna sesija 1</i>	
UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM I NOVE TEHNOLOGIJE	
Primena veštačke inteligencije u saobraćajnom inženjerstvu	13
<i>Marina Lipovac Tanasković, Jasmina Maravić</i>	
Sistemi za detekciju i upravljanje saobraćajem na raskrsnicama uz podršku veštačke inteligencije	20
<i>Katarina Tadić, Aleksandra Obradović, Ivana Drešević</i>	
Alternativna svetlosna signalizacija – alat dinamičkog upravljanja kapacitetom saobraćajnica	27
<i>Margareta Ilić, Marko Cvetanović, Stefan Mladenović</i>	
Optimizacija rada semaforizovanih raskrsnica u širem području oko zone radova	34
<i>Aleksandra Obradović, Katarina Tadić, Ivana Drešević</i>	
Upravljanje radom izolovane signalisane raskrsnice primenom metoda veštačke inteligencije	42
<i>Nikola Barać, Dragomir Leković, Stefan Mladenović, Aleksandar Jovanović</i>	
Adaptibilno upravljanje svetlosnom signalizacijom: primer primene sistema FUSION u regiji Tees Valley	49
<i>Petar Bogdanović, Aleksandra Obradović, Katarina Tadić, Vukašin Terzić</i>	
Razvoj i implementacija softvera za detekciju vozila zasnovan na obradi video zapisa	56
<i>Anđela Lazarević, Dragomir Leković, Stefan Mladenović</i>	
Primena i analiza rada PTV Balance softverske instance u uslovima realnog saobraćajnog sistema	63
<i>Smiljana Pavlović, Margareta Ilić, Stamenka Stanković</i>	
Primena velikih jezičkih modela u upravljanju signalisanom raskrsnicom	69
<i>Jovan Grba, Stamenka Stanković, Katarina Kukić, Nikola Čelar, Ana Uzelac</i>	
Usklađenost stalne i izmenjive saobraćajne signalizacije u zimskim uslovima odvijanja saobraćaja na državnim putevima	81
<i>Aleksandar Canić</i>	
Od transportnog modela do digitalnog blizanca: metodološki okvir postepene transformacije sistema upravljanja saobraćajem	92
<i>Stamenka Stanković, Nikola Čelar, Jelena Kajalić</i>	

Plenarna sesija 2

SAOBRAĆAJNO PROJEKTOVANJE u ogledalu sadašnjosti

Procedure, standardi i praksa projektovanja i održavanja saobraćajne signalizacije – komparativna analiza Srbije i Švedske <i>Aleksandra Krstić</i>	103
Унапређење процеса одржавања саобраћајне сигнализације применом фази логике <i>Владимир Ристановић, Тања Грбић, Владимир Кораћ, Јовановић Ђорђе</i>	109
Uticaj vizuelne složenosti okruženja na percepciju i razumevanje saobraćajnih znakova <i>Anđela Novaković, Ana Trpković, Marjana Čubranić-Dobrodolac</i>	122
Analiza zakonske regulative, regulisanja saobraćaja i projektovanja prelaza biciklističkih staza preko kolovoza u Republici Srbiji <i>Marko Milošević, Teodora Bajević, Ružica Kalamanda, Naser Mostafa, Biljana Peković</i>	130
Вожња у супротном смеру на мрежи државних путева највишег реда и одговарајуће контра-мере <i>Стефан Анђелковић, Александар Радосављевић, Никола Глишовић, Петар Бапић</i>	137
Uticaj sistema za automatsku detekciju prekršaja u zoni raskrsnica i kriterijumi za njihovo postavljanje <i>Goran Kalamanda, Miodrag Počuč, Igor Vukobratović, Dragan Jovanović, Predrag Samardžija</i>	148
Od fizičkog ka digitalnom saobraćajnom znaku: Evolucija signalizacije u tranziciji ka autonomnoj mobilnosti <i>Miroslav Petrović, Mladen Nedeljkov, Ana Trpković, Dušan Mladenović, Filip Filipović</i>	156
Humani inženjering u gradovima: analiza pristupačnosti Kliničkog centra Srbije <i>Mina Grujović, Anđela Novaković, Jelena Pejović, Aleksandra Krstić, Marija Petrović, Vladimir Nestorović</i>	165
Metamorfoza gradskog centra: urbanističke i saobraćajne posledice koncepta grada bez automobila <i>Ranka Gajić, Svetlana Batarilo, Ana Trpković, Branimir Stanić</i>	173
Katastar saobraćajne signalizacije i opreme Grada Beograda <i>Milinko Jelisavčić</i>	181

Plenarna sesija 3

EFIKASNOST PUTNOG SAOBRAĆAJA

Генерални и идејни пројекат вишетрачног пута „Вожд Карађорђе“ – методолошки и стручни изазови	191
<i>Владан Тубић, Сања Фриц, Небојша Видић, Дејан Гавран, Маријо Вудас, Немања Степановић, Филип Трпчевски</i>	
Procena PCE vrednosti na prilazima vangradske i gradske kružne raskrsnice	203
<i>Marko Subotić, Miroslav Đerić, Anđela Tomašević</i>	
Uticaj učešća automatizovanih vozila u saobraćajnom toku na kapacitet autoputeva	213
<i>Miloš Tubić, Dušan Mladenović, Nemanja Stepanović</i>	
Uticaj tehničkih mera za smirivanje saobraćaja na prihvatanje intervala sleđenja na nesignalisanim raskrsnicama	221
<i>Vladimir Ilić, Vuk Bogdanović, Boško Matović, Filip Perović, Milan Andrijašević</i>	
Uticaj uzdužnog nagiba tunela na kretanje vozila i upravljanje sporim vozilima	227
<i>Ivana Andrijanić, Ivana Kuljanin, Ivana Ilić, Katarina Komnenović</i>	
Analiza efekata provere bezbednosti saobraćaja na državnim putevima Republike Srbije	233
<i>Emir Smailović, Boris Antić, Dalibor Pešić, Neda Kočanović</i>	
Uticaj kružnih raskrsnica na nivo bezbednosti saobraćaja na motoputu Šabac–Loznica	244
<i>Katarina Komnenović, Miloš Milosavljević, Ivana Ilić, Vladimir Borisavljević</i>	
Analiza promene brzine vozila u zoni ulaza u naselja na državnim putevima sa aspekta bezbednosti saobraćaja	251
<i>Lazar Stojanović, Milica Tubić, Danijela Rotula, Marija Stojanović, Miloš Micković, Ana Rusić, Nebojša Vidić</i>	
Промене просечног годишњег дневног саобраћаја главних путних праваца ка суседним државама	258
<i>Петар Ђапић, Стефан Анђелковић, Александар Радосављевић, Никола Глишовић</i>	
Утицај изградње деонице аутопута А2 Прељина – Паковраће на услове саобраћаја на обилазници Чачка	266
<i>Олга Ђурковић, Милош Тубић</i>	
Uticaj saobraćajnog opterećenja na promenu ravnosti kolovoza u toku eksploatacionog veka kolovozne konstrukcije	274
<i>Marko Bajić, Zorana Zorić, Ivana Andrijanić, Ivana Kuljanin</i>	

Plenarna sesija 4

PARKIRANJE

Od problema parkiranja do efikasnog upravljanja: smernice i primeri dobre prakse	281
<i>Jelena Simićević</i>	
Прoходност гаража и паркиралишта	
<i>Мирослав Милошев, Снежана Димитријевић, Зоран Рубињони, Горан Зимоњић</i>	291
Izazovi integracije parkiranja i punjenja električnih vozila u centralnom gradskom području	297
<i>Vladimir Momčilović, Marko Stokić</i>	
Analiza efekata novoizgrađenih parking garaža na karakteristike parkiranja u centralnoj zoni Novog Sada	307
<i>Milja Simeunović, Zoran Papić, Nenad Saulić, Pavle Pitka</i>	
Kako upravljanje parkiranjem oblikuje centralnu zonu Beograda – efekti, izazovi i smernice	315
<i>Vladimir Čuljković, Tijana Nikolić</i>	
Naplata ulaska u centralnu zonu u funkciji upravljanja parkiranjem	324
<i>Tijana Nikolić, Jelica Komarica</i>	
Uticaj odabranih „push” i „pull” mera na zahteve za parkiranje u užem centru Beograda	333
<i>Mina Mešić, Jelena Simićević, Marina Milenković</i>	
Analiza zadovoljstva korisnika u funkciji karakteristika uličnog parkiranja u zoniranom području grada Šapca	341
<i>Teodora Bajević, Milica Tubić, Vuk Bogdanović</i>	
Primjena električnih dostavnih vozila u logistici posljednje milje pješačkih zona – studija slučaja Herceg Novi	350
<i>Miladin Vidaković, Jelena Krešić</i>	

Plenarna sesija 5

PLANIRANJE SAOBRAĆAJA

Da li planiramo biciklističku mrežu tamo gde je potrebna? Uloga saobraćajnih analiza u definisanju biciklističkih koridora u planskoj dokumentaciji	359
<i>Ivan Ivanović, Dragana Petrović, Vladimir Đorić, Sandra Mišić</i>	
Nacionalna podrška izradi Planova održive urbane mobilnosti – šta možemo naučiti od Slovenije?	368
<i>Vladimir Đorić, Ivan Ivanović, Dragana Petrović</i>	
Uloga planova održive urbane mobilnosti u zakonodavnom, planskom i strateškom okviru Republike Srbije	379
<i>Jelena Mitrović Simić, Vuk Bogdanović, Valentina Mirović, Andrea Kovačević</i>	
Procena generisanog saobraćaja za potrebe saobraćajnih analiza u gradu Beogradu: poređenje sa ITE preporukama	386
<i>Kosta Jovanov, Mladen Nedeljkov, Petar Reković, Filip Trajković, Viktor Pavlović</i>	
Promene obrazaca mobilnosti tokom životnog ciklusa stanovnika Novog Sada	394
<i>Andrea Kovačević, Valentina Mirović, Jelena Mitrović Simić, Milica Miličić</i>	
Analiza isplativosti ulaganja u projekte zelene mobilnosti: Primer slučaja biciklističke staze Užice-Sevojno	401
<i>Vanja Žigić, Draženko Glavić, Marina Milenković</i>	
Primena transportnog modela u procesu unapređenja gradskih saobraćajnih sistema i donošenja planskih i investicionih odluka na primeru Grada Novog Pazara	409
<i>Miodrag Počuć, Goran Kalamanda, Vuk Bogdanović, Nemanja Garunović, Igor Vukobratović, Mira Ilić Tomić</i>	
Primena PTV Visum-a u analizi uticaja planirane saobraćajne infrastrukture na saobraćajne tokove Novog Sada	415
<i>Nikola Pandžić, Aleksandar Panjković</i>	
Primena GIS metoda za analizu prostorne preglednosti u zoni pružnih prelaza	427
<i>Ana Lukić, Miloš Milosavljević, Ivana Ilić, Katarina Borović</i>	

ОКРУГЛИ СТО

Теоријске разлике између претицајне прегледности и прегледности за безбедно претицање према прописима Републике Србије	437
<i>Боривоје Алексић, Марија Живадиновић, Лазар Савковић, Урош Алексић</i>	
Registar ORCID brojeva autora	457

Plenarna sesija 1

UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM I NOVE TEHNOLOGIJE

Primena veštačke inteligencije u saobraćajnom inženjerstvu

Marina Lipovac Tanasković, MaltaPRO; maltapro.consulting@gmail.com
Jasmina Maravić, CILT d.o.o.; jjovanovic@cilt.rs

Rezime: Primena veštačke inteligencije u saobraćajnom inženjerstvu predstavlja jednu od značajnijih tehnoloških revolucija koja menja način na koji gradovi pristupaju mobilnosti, bezbednosti i razvoju infrastrukture. Veštačka inteligencija transformiše savremeno saobraćajno inženjerstvo kroz alate za analizu, predviđanje i upravljanje kompleksnim sistemima kretanja u urbanim sredinama.

U domenu saobraćajnog planiranja, AI modeli koriste duboke neuronske mreže za modelovanje potražnje, analizirajući ogromne količine podataka iz heterogenih izvora poput mobilnih mreža, GPS uređaja i IoT senzora kako bi generisali IC matrice. Fokus se pomera sa tradicionalnih, statičkih modela na dinamičke sisteme koji uče iz ponašanja korisnika u realnom vremenu, čime se omogućava inženjerima da planiraju fleksibilne mreže vidovne raspodele, koje su otpornije na nepredviđene događaje i saobraćajna opterećenja.

Kada je reč o projektovanju saobraćajnica i raskrsnica, naglasak više nije na mikro-simulacijama već na optimizaciji mreže, tj komunikacija raskrsnica međusobno, a sve radi postizanja maksimalne propusne moći uz minimalne vremenske gubitke i visok nivo bezbednosti saobraćaja. Idući korak dalje inženjeri danas primenjuju i korisne „digitalne blizance“ i napredne simulacije zasnovane na neuronskim mrežama čitavog grada. U fazi izvođenja i upravljanja, AI funkcioniše kao centralni mozak sistema, omogućavajući trenutnu detekciju incidenata i adaptivnu kontrolu „zelenih talasa“. Algoritmi dubokog učenja optimizuju saobraćajne tokove, čime se direktno smanjuju emisije štetnih gasova i buka, dok se bezbednost podiže na viši nivo.

U radu je objašnjena upotreba veštačke inteligencije u planiranju pametnih gradova, projektovanju i izvođenju, kroz prizmu inostrane prakse. Biće osvrta na već dostignute sisteme koji se koriste, na testiranja kao priprema za buduće trendove koji se očekuju u skorijoj budućnosti, ali i sisteme koji bi mogli da nas očekuju u daljoj budućnosti: V2V (vozilo-vozilo) i V2I (vozilo-infrastruktura).

Ključne reči: veštačka inteligencija, pametni gradovi, digitalni blizanci, ITS, V2V, V2I.

1 UVOD

Brz proces urbanizacije, praćen rastom stanovništva i brojem motornih vozila, generiše izuzetno kompleksne izazove u upravljanju urbanim transportnim sistemima. Tradicionalne metode upravljanja i projektovanja, zasnovane na statičkim i determinističkim modelima koji se optimizuju van mreže (off-line), pokazuju ozbiljna ograničenja u uslovima izrazito dinamičkih, promenljivih i nepredvidivih saobraćajnih tokova. Saobraćajna zagušenja, povećana emisija štetnih gasova, buka i saobraćajne

nezgode direktno narušavaju kvalitet života i uzrokuju značajne ekonomske gubitke u urbanim sredinama.

U ovom kontekstu, veštačka inteligencija (AI) i mašinsko učenje (ML) se pojavljuju kao moćna tehnološka rešenja sposobna da transformišu saobraćajni sektor u inteligentan, predvidljiv i otporan ekosistem. AI u saobraćajnom inženjerstvu podrazumeva primenu naprednih algoritama, neuronskih mreža i sistema za analizu velikih količina podataka (engl. Big Data) u realnom vremenu, omogućavajući automatizaciju kontrole, predviđanje rizika i donošenje optimalnih odluka. Integracija AI sistema sa Internetom stvari (IoT) i 5G komunikacionim mrežama stvara digitalni nervni sistem gradova, pružajući osnovu za razvoj pametnih gradova (engl. Smart Cities) i održive mobilnosti.

Cilj ovog rada je da pruži sažet, tehnički ispravan i kritički pregled mogućnosti i efekata primene veštačke inteligencije u saobraćajnom planiranju, projektovanju i operativnom upravljanju, sa posebnim fokusom na inostranu inženjersku praksu i empirijske rezultate implementacije.

2 SAOBRAĆAJNO PLANIRANJE I PROJEKTOVANJE: INTEGRACIJA DIGITALNIH BLIZANACA

2.1 Saobraćajno planiranje i neuronske mreže

U domenu saobraćajnog planiranja, tradicionalni statički modeli sve više bivaju zamenjeni dinamičkim sistemima koji uče iz ponašanja korisnika u realnom vremenu. AI modeli, pre svega duboke neuronske mreže i grafovske neuronske mreže (eng. Graph Neural Networks - GNN), koriste se za modelovanje saobraćajne potražnje analizom ogromnih količina heterogenih i više-izvornih podataka (engl. heterogeneous data) [1, 4]. Ovi podaci se prikupljaju iz mobilnih mreža, GPS uređaja, RFID transpondera i IoT senzora postavljenih duž putne mreže.

Korišćenjem ovih podataka, AI algoritmi imaju sposobnost da automatski generišu matrice izvor-cilj (IC matrice, eng. Origin-Destination - OD matrices), koje precizno prikazuju kretanje stanovništva kroz urbanu mrežu. To omogućava saobraćajnim inženjerima da planiraju fleksibilne i otporne mreže vidovne raspodele (engl. modal split) koje mogu uspešno da se prilagode nepredviđenim događajima, radovima na putu ili naglim promenama saobraćajnog opterećenja. Takođe, primena mašinskog učenja i vremenskih serija poput LSTM (engl. Long Short-Term Memory) neuronskih mreža omogućava predviđanje dugoročnih trendova urbanog razvoja i prostorne pristupačnosti, pružajući donosiocima odluka naučno utemeljenu podršku u planiranju nove infrastrukture.

2.2 Projektovanje saobraćajnica i digitalni blizanci

Tradicionalno projektovanje raskrsnica i saobraćajnica se decenijama oslanjalo na mikro-simulacione modele (poput VISSIM-a) koji analiziraju izolovane objekte. Međutim, savremeni AI pristup pomera fokus sa pojedinačnih mikro-simulacija na mrežnu optimizaciju, odnosno međusobnu komunikaciju raskrsnica, radi postizanja maksimalne propusne moći celokupne ulične mreže uz minimalne vremenske gubitke i visok nivo bezbednosti.

U ovoj fazi, inženjeri danas primenjuju koncept 'digitalnih blizanaca' (engl. Digital Twins) i napredne simulacije čitavog grada zasnovane na neuronskim mrežama. Digitalni blizanač predstavlja vernu digitalnu repliku fizičkog saobraćajnog sistema u realnom vremenu, koja se neprekidno ažurira podacima sa senzora i kamera. Na ovaj način, simulacije mogu predvideti kako će izmena geometrije neke raskrsnice, promena smera ulica ili izgradnja novog objekta uticati na tokove saobraćaja u celom gradu.

Ovaj nivo optimizacije se u bliskoj budućnosti proširuje na kooperativnu, povezanu i automatizovanu mobilnost (eng. Cooperative, Connected and Automated Mobility CCAM) kroz protokole vozilo-vozilo (V2V) i vozilo-infrastruktura (V2I) komunikacije. V2V komunikacija omogućava vozilima da razmenjuju podatke o brzini i poziciji radi izbegavanja konflikta, dok V2I omogućava vozilima da direktno komuniciraju sa pametnom putnom signalizacijom, optimizujući brzinu kretanja i prolaz kroz raskrsnice. Integracija digitalnih blizanaca sa sistemima upravljanja putnom infrastrukturom (RAMS - Road Asset Management System) podrazumeva kontinuirano povezivanje podataka sa terena (saobraćaj, stanje kolovoza, uslovi okoline puta) sa procesima planiranja, održavanja i finansiranja putne infrastrukture.

3 OPERATIVNO UPRAVLJANJE I STUDIJE SLUČAJA U INOSTRANOJ PRAKSI

U fazi izvođenja i upravljanja saobraćajem, veštačka inteligencija funkcioniše kao centralni mozak sistema, omogućavajući adaptivnu kontrolu svetlosnih signala i dinamičku optimizaciju 'zelenih talasa'. Savremeni inteligentni transportni sistemi (ITS) primenjuju duboko pojačano učenje (engl. Deep Reinforcement Learning - DRL), posebno model Deep Q-Network (DQN), za dinamičko prilagođavanje ciklusa semafora na osnovu podataka u realnom vremenu. DQN model uči optimalne strategije upravljanja kroz definisanje prostora stanja (protok, dužina reda čekanja, stanje signala), prostora akcija (promena trajanja faza zelenog svetla i ciklusa) i funkcije nagrade (povećanje protoka, smanjenje vremenskih gubitaka i broja nezgoda) [2].

Praktična primena ovih modela u inostranoj inženjerskoj praksi potvrđena je kroz tri reprezentativne studije slučaja koje demonstriraju različite arhitekture i efekte upravljanja [5, 6, 7]:

1. Pitsburg (SAD) - SURTRAC: Ovaj sistem predstavlja decentralizovani, multi-agentski adaptibilni sistem kontrole semafora razvijen na Robotics Institute, Carnegie Mellon University. Svaka raskrsnica deluje samostalno, tako da pomoću radarskih i video senzora prepoznaje dolazeće klastere vozila, optimizuje sopstvenu fazu u intervalima od 1-2 sekunde i deli progresne odlive sa susednim raskrsnicama kako bi se formirali koordinisani zeleni talasi. Empirijski rezultati pokazuju skraćanje vremena putovanja za 25-26%, smanjenje čekanja na raskrsnicama za 40-41%, smanjenje broja zaustavljanja za 31% i smanjenje štetnih emisija CO₂ za 21% [7].

2. Hangdžou (Kina) - Alibaba ET City Brain: Ovaj sistem predstavlja centralizovanu platformu u oblaku koja koristi duboke neuronske mreže za obradu real-time video zapisa i GPS trajektorija sa uličnih kamera i senzora celog grada. ET City Brain koordinira preko 128 raskrsnica, ostvarujući tačnost identifikacije saobraćajnih incidenata od preko 92%. Sistem je povećao prosečnu brzinu kretanja vozila za 15% (skraćanje dnevnog putovanja za prosečno 3 minuta) i skratio vreme dolaska hitne pomoći i vatrogasnih službi za čak

50% (prosečno 7 minuta brže na odredištu) kroz automatsko otvaranje zelenog koridora [5].

3. London (UK) - RTO, SCOOT 8 AI & Yunex FUSION: Transport for London (TfL) sprovodi sveobuhvatnu transformaciju mreže kroz Real Time Optimiser (RTO) platformu. Najnoviji sistem SCOOT 8 AI koristi prediktivne AI algoritme za prognozu saobraćajne potražnje i sprečavanje zagušenja do 30 minuta unapred, smanjujući vreme putovanja za dodatnih 15% u odnosu na prethodne reaktivne sisteme. Istovremeno, podsistem Yunex FUSION omogućava multimodalno modelovanje, čime se optimizacija ne vrši isključivo za putničke automobile, već se prioritet dinamički dodeljuje aktivnim vidovima transporta (pešaci, biciklisti) i javnom prevozu (autobusi), ciljajući ukupno smanjenje vremenskih gubitaka u mreži do 14%. [6]

Tabela 1: Uporedni prikaz tehničkih rešenja i kvantitativnih efekata u saobraćaju

Sistem i Lokacija	Tehnološki pristup i AI modeli	Kvantitativni efekti i poboljšanja
SURTRAC Pitsburg, SAD	Decentralizovani multi-agentski sistemi, 1-2s lokalna re-optimizacija, lokalna V2X komunikacija [7].	<ul style="list-style-type: none"> Putovanje: -25% do -26% Čekanje: -40% do -41% Zaustavljanja: -31% Emisije CO2: -21%
Alibaba ET City Brain Hangdžou, Kina	Centralizovana cloud-platforma, MaxCompute, duboke neuronske mreže, real-time video analitika [5].	<ul style="list-style-type: none"> Brzina vozila: +15% Detekcija incidenata: >92% Odziv hitnih službi: -50% Kapacitet autobusa: +17%
SCOOT 8 AI & FUSION London, UK	Prediktivni AI (prognoza demand-a do 30 min unapred), multimodalno FUSION modelovanje saobraćaja [6].	<ul style="list-style-type: none"> Dodatno putovanje: -15% Ukupna kašnjenja: -14% Brža detekcija incidenata: +40%

4 PRAĆENJE INFRASTRUKTURE I BEZBEDNOST SAOBRAĆAJA

„Kompjuterski vid“ igra ključnu ulogu u automatskom nadzoru i detekciji incidenata. Konvolucione neuronske mreže (CNN) koriste se za prepoznavanje i kategorizaciju vozila, detekciju pešaka, kao i za automatsko prepoznavanje saobraćajnih znakova (engl. Traffic Sign Recognition - TSR). CNN modeli ostvaruju izuzetnu tačnost od 98.98% na Bhubaneswar Traffic Sign Benchmark skupu podataka, nadmašujući tradicionalni metod potpornih vektora (eng. Support Vector Machine, SVM) koji dostiže 98.33% [3].

Pored regulisanja toka, digitalizacija i AI se intenzivno primenjuju u održavanju putne mreže. Tradicionalni reaktivni pristupi zamenjuju se prediktivnim održavanjem kolovoza i mostova primenom integracije sa sistemima upravljanja putnom infrastrukturuom (RAMS). Korišćenjem senzora raspoređenih duž infrastrukture — kao što su akcelerometri i piezoelektrični senzori za merenje težine vozila u pokretu (WIM - Weigh-in-Motion) — prate se vibracije, opterećenja i strukturni stres u realnom vremenu [11].

Zahvaljujući primeni „edge“ računarstva (obrada podataka na 'ivici' mreže pomoću pametnih kamera), CNN modeli detektuju pukotine i udarne rupe u realnom vremenu direktno na terenskim uređajima [13]. Ovo rešenje eliminiše prenos ogromnih video zapisa u centralni sistem, prenoseći samo koordinate i kategoriju oštećenja, čime se optimizuje mrežni protok [11].

U domaćoj i regionalnoj praksi, istraživanja Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu [8] i Tehničkog fakulteta u Bitoli [9] potvrđuju značaj uspostavljanja lokalnih indikatora bezbednosti saobraćaja, kao što su stopa alkoholisanih vozača i prekoračenje brzine kretanja, te njihovu integraciju u nadzorne sisteme za brzu proveru vozačkih dozvola i detekciju nekorišćenja sigurnosnih pojaseva [9]. Kvantitativni efekti ove digitalne transformacije na nivou putne mreže sumirani su u Tabeli 2.

Tabela 2: KPI indikatori održavanja pre i posle primene AI/DT sistema

Indikator performansi	Tradicionalni sistem	AI/DT sistem	Poboljšanje
Vreme detekcije oštećenja kolovoza	6-12 meseci	1-7 dana	-85.00%
Trošak reaktivne sanacije kolovoza	100.00% (baza)	60.00% - 70.00%	-30.00%
Rizik od saobraćajnih nezgoda	Visok nivo rizika	Smanjen nivo	-20.00% do -40.00%
Životni vek kolovozne konstrukcije	100.00% (baza)	115.00% - 130.00%	+15.00% do +30.00%

5 TEHNIČKA OGRANIČENJA I INŽENJERSKA ODGOVORNOST ("ILUZIJA SVEMOĆI")

Iako primena AI donosi nesumnjive koristi, u stručnoj javnosti se povremeno stvara pogrešna percepcija o veštačkoj inteligenciji kao savršenom i svemoćnom rešenju. Ova „iluzija svemoći“ [10] može dovesti do ozbiljnih tehničkih i inženjerskih propusta ako se slepo oslanjamo na algoritamske modele. Tačnost i stabilnost rezultata AI modela u velikoj meri zavise od kvaliteta, konzistentnosti i reprezentativnosti ulaznih podataka. Ukoliko su podaci nepotpuni ili prikupljeni u različitim klimatskim ili saobraćajnim uslovima, modeli dubokog učenja mogu generisati neadekvatne odluke ili pokazati neuspeh u generalizaciji [1, 10].

Ključne granice i izazovi primene obuhvataju [1, 10, 11]:

- **Problem 'crne kutije' (engl. black box):** Složenost dubokih neuronskih mreža otežava razumevanje i matematičko objašnjenje procesa donošenja odluka, što narušava inženjersku transparentnost i otežava preuzimanje pravne odgovornosti [10].
- **Kibernetička bezbednost:** Sve veća povezanost V2X sistema i IoT senzora izlaže pametnu infrastrukturu riziku od digitalnih napada, gde preuzimanje kontrole nad svetlosnim signalima direktno ugrožava bezbednost saobraćaja [1, 11].
- **Visoki digitalni troškovi:** Uvođenje senzorskih mreža, cloud platformi i edge gateway-a zahteva značajna početna i kontinualna finansijska ulaganja, što stvara tehnološku nejednakost između zemalja visokog i niskog dohotka [10, 11].

- **Etička pristrasnost podataka:** Modeli obučavani na podacima iz urbanih sredina teže daju prioritet i adekvatne preporuke za ruralne oblasti, što može dovesti do diskriminatorne raspodele budžeta [10].

Zbog navedenih ograničenja, neophodno je odbaciti težnju ka potpunoj automatizaciji bez kontrole. Zlatni standard savremenog saobraćajnog inženjerstva mora biti princip 'čovjek u petlji' (engl. human-in-the-loop), gde AI funkcioniše isključivo kao moćan pomoćni i analitički alat koji pruža dublji uvid u podatke, dok konačnu inženjersku odluku i profesionalnu odgovornost donosi licencirani inženjer na osnovu znanja i iskustva [10].

6 ZAKLJUČAK

Primena veštačke inteligencije u saobraćajnom inženjerstvu više nije pitanje daleke budućnosti, već neminovni pravac tehnološke evolucije i redefinisanja urbanog transporta. Kvantitativni empirijski pokazatelji izmereni u praksi potvrđuju da DQN modeli adaptibilne kontrole signala, u kombinaciji sa mrežnom optimizacijom digitalnih blizanaca, ostvaruju izuzetne koristi: smanjuju vreme putovanja za četvrtinu, povećavaju protok za 7% i značajno ublažavaju ekološki otisak kroz redukciju emisija štetnih gasova za 21% [2, 7].

Međutim, uspešan prelazak sa reaktivnih na proaktivne i prediktivne sisteme ne zavisi isključivo od tehnologije, već i od izgradnje stabilnih institucija, jasnih pravnih regulativa, standardizacije protokola i prekogranične interoperabilnosti [11]. Zbog prisutnih tehničkih i finansijskih prepreka, posebno u zemljama u tranziciji, najracionalniji pristup predstavlja fazni model implementacije (ITS → IoT → Edge → RAMS → DT), koji omogućava postepeni, bezbedan i ekonomski opravdan prelazak na koncept pametne infrastrukture [11]. **Sve dok se AI posmatra kao podrška, a čovek zadržava kontrolnu i etičku funkciju, digitalna transformacija će uspešno podsticati razvoj održivih gradova, čuvajući ključnu ulogu - odgovornost inženjera.**

LITERATURA

- [1] Saxena, Ritwik Raj. (2024). Artificial Intelligence in Traffic Systems. Duluth: Department of Computer Science, University of Minnesota.
- [2] Zhang, Xuanning. (2025). Artificial Intelligence in Intelligent Traffic Signal Control. Shanghai: Shanghai Polytechnic University. DOI: 10.54254/2755-2721/2025.20846.
- [3] Pradhan, Umakanta, Sethi, Santosh Kumar, Pati, Rajalaxmi, Sahu, Ompriya, & Parida, Amitav. (2024). Use of Artificial Intelligence in Road Traffic and Pavement Engineering. Bhubaneswar: Aryan Institute of Engineering and Technology. Industrial Engineering Journal, ISSN: 0970-2555, Vol. 53, Issue 3, No. 5.
- [4] Alam, Quazi Mishkatul, Kolar, Vinay, & Thottan, Marina. (2024). Towards AI/ML-Driven Network Traffic Engineering. Baton Rouge, LA, USA: ACM. DOI: 10.1145/3703412.3703436.
- [5] Alibaba Cloud. (2018). How ET City Brain Is Transforming the Way We Live – One City at a Time. Alibaba Cloud Community.
- [6] TRL Software. (2025). TRL Software Launches SCOOT® 8 AI: World's First AI-Powered Predictive Urban Traffic Control Solution.
- [7] Carnegie Mellon University. (2019). Surtrac Allows Traffic To Move at the Speed of Technology. CMU News.
- [8] Savić, Bojana. (2024). Primena veštačke inteligencije za unapređenje bezbednosti saobraćaja. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- [9] Joševski, Zoran, Stefanovski, Pero, & Koneska, Verče. (2024). Mogućnosti primene veštačke

inteligencije za kreiranje modela za unapređenje bezbednosti saobraćaja. Tehnički fakultet Bitola / Državni univerzitet u Tetovu. Originalni naučni rad. DOI: 10.5937/IAS24003J.

- [10] Pavić, Milica, & Jokanović, Igor. (2026). Primena veštačke inteligencije u putnom sektoru - između inženjerske podrške, tačnosti i iluzije svemoći. Subotica: Građevinski fakultet Subotica. Originalni naučni rad.
- [11] Lindov, Osman, Olovčić, Jasmina, & Džaferović, Samir. (2026). Primjena ITS-a, AI i digitalnih blizanaca u upravljanju i održavanju putne mreže. Sarajevo: Fakultet za saobraćaj i komunikacije.
- [12] Lipovac Tanasković, Marina. (2025). Artificial Intelligence (AI) for Smart City and Urban Systems, Dubai: Oxford Management Centre.
- [13] Lipovac Tanasković, Marina. (2024). Road Asset Management; Upgrade and Maintain the Road Network, London: Oxford Management Centre.

SUMMARY

The application of artificial intelligence in traffic engineering: models, integration and limitations

Abstract: The integration of Artificial Intelligence (AI) in traffic engineering is a major technological paradigm shift that is reshaping how modern cities manage urban mobility, road safety, and infrastructure resilience. This paper provides a concise and critical review of the strategic deployment of AI models across three core areas: traffic planning, roadway design, and operational traffic management, while incorporating key international case studies and advanced digital twin and edge computing frameworks. In the planning and design phases, deep neural networks and city-scale digital twins enable the transition from static planning to data-driven, real-time demand modeling and network optimization, generating Origin-Destination matrices from multi-source datasets. In the operational phase, deep reinforcement learning, particularly Deep Q-Networks (DQN), is applied to adaptive traffic signal control. Through three representative global case studies — SURTRAC (Pittsburgh), Alibaba ET City Brain (Hangzhou), and SCOOT 8 AI / Yunex FUSION (London) — this paper evaluates the quantitative effects of AI implementation, showing a 7% increase in traffic throughput, a 25% reduction in average travel times, a 26.67% decrease in congestion indices, and a 50% reduction in emergency response times. Furthermore, the paper discusses the use of computer vision and edge analytics for real-time pavement distress detection, which cuts detection times by 85%. Finally, the paper addresses key technical and organizational barriers to AI implementation, including data quality, the opaque 'black box' nature of deep learning, high digital infrastructure costs, and cybersecurity. It emphasizes the importance of preserving the 'human-in-the-loop' principle, ensuring that AI remains an engineering support tool while final professional judgment and liability reside with licensed human engineers.

Key words: artificial intelligence, digital twins, DQN model, smart cities, traffic safety.

Sistemi za detekciju i upravljanje saobraćajem na raskrsnicama uz podršku veštačke inteligencije

Katarina Tadić, Yunex Traffic, Beograd, katarina.tadic@yunextraffic.com

Aleksandra Obradović, Yunex Traffic, Beograd,

aleksandra.obradovic.ext@yunextraffic.com

Ivana Drešević, Yunex Traffic, Beograd, ivana.dresevic@yunextraffic.com

Rezime: Efikasno upravljanje saobraćajem na urbanim raskrsnicama predstavlja jedan od ključnih izazova savremenih inteligentnih transportnih sistema. Tradicionalni semaforški sistemi, zasnovani na fiksnim signalnim programima, često ne mogu adekvatno da odgovore na dinamičke promene u saobraćajnim zahtevima i kretanju pešaka, što može dovesti do većih vremenskih gubitaka i smanjenja nivoa bezbednosti saobraćaja. U ovom radu istražuje se primena kamera u kombinaciji sa metodama veštačke inteligencije za automatsku detekciju i praćenje vozila i pešaka u realnom vremenu. Korišćenjem algoritama veštačke inteligencije omogućeno je pouzdano prepoznavanje i klasifikacija učesnika u saobraćaju, na osnovu čega se realizuje upravljanje saobraćajem na raskrsnicama. Dinamičko prilagođavanje trajanja i redosleda faza može doprineti smanjenju vremenskih gubitaka, efikasnijem korišćenju kapaciteta raskrsnice i unapređenju bezbednosti saobraćaja, posebno ranjivih učesnika.

Ključne reči: upravljanje saobraćajem, veštačka inteligencija, Aware AI

1 UVOD

Savremeni gradovi suočavaju se sa rastućim problemima saobraćajnih gužvi, povećanim brojem vozila i potrebom za unapređenjem bezbednosti svih učesnika u saobraćaju. Raskrsnice predstavljaju kritične tačke saobraćajne mreže na kojima često dolazi do zagušenja, konflikata saobraćajnih tokova i povećanog rizika od saobraćajnih nezgoda. Tradicionalni sistemi upravljanja semaforima zasnovani su na unapred definisanim signalnim planovima i ograničenim informacijama o trenutnom stanju saobraćaja, zbog čega ne mogu uvek efikasno odgovoriti na promene intenziteta saobraćaja [1]. Razvoj veštačke inteligencije, računarskog vida i inteligentnih transportnih sistema omogućio je primenu naprednih metoda detekcije i upravljanja saobraćajem u realnom vremenu. Analizom podataka prikupljenih pomoću kamera i AI algoritama moguće je identifikovati različite učesnike u saobraćaju, pratiti njihovo kretanje i optimizovati rad semaforne signalizacije [1,2]. Cilj rada je analiza sistema za detekciju i upravljanje saobraćajem na raskrsnicama uz podršku veštačke inteligencije, sa posebnim osvrtom na sistem Yuttraffic awareAI kompanije Yunex Traffic.

2 SISTEMI ZA DETEKCIJU SAOBRAĆAJA NA RASKRSNICAMA

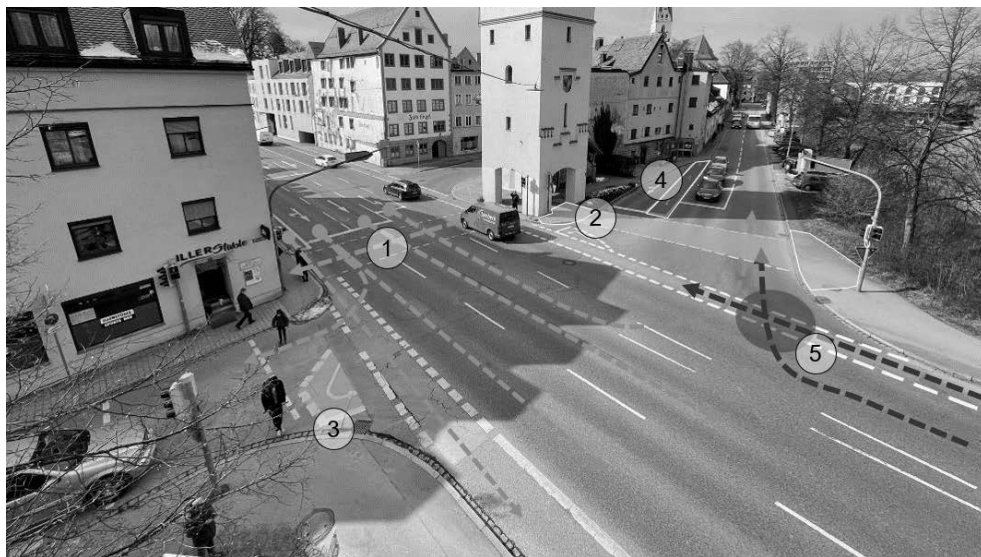
Detekcija saobraćaja predstavlja osnovni element sistema za upravljanje saobraćajem. Tačnost i pouzdanost prikupljenih podataka direktno utiču na kvalitet odluka koje donosi

upravljački sistem. Tradicionalne metode detekcije obuhvataju induktivne petlje ugrađene u kolovoz, radarske senzore i različite vrste detektorskih kamera.

Induktivne petlje predstavljaju jedno od najčešće korišćenih rešenja zbog jednostavne logike rada, ali nude ograničene informacije, jer uglavnom registruju samo prisustvo vozila na određenoj lokaciji [1]. Razvojem tehnologija računarskog vida pojavili su se sistemi zasnovani na video analitici i dubokom učenju. Ovakvi sistemi koriste kamere i algoritme veštačke inteligencije za automatsku detekciju i klasifikaciju učesnika u saobraćaju. Pored motornih vozila, moguće je identifikovati pešake, bicikliste, motocikliste i električne trotinete, kao i pratiti njihovo kretanje kroz celu raskrnicu [1,2]. U odnosu na tradicionalne senzore, AI sistemi omogućavaju znatno detaljniju analizu saobraćajne situacije i pružaju podatke koji se mogu koristiti za adaptivno upravljanje signalizacijom i dugoročno planiranje saobraćajne infrastrukture [3].

3 UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM UZ PODRŠKU VEŠTAČKE INTELIGENCIJE

Klasični sistemi upravljanja semaforima uglavnom funkcionišu prema unapred definisanim vremenskim planovima. Takav pristup ne uzima u obzir stvarnu gustinu saobraćaja i promene koje nastaju tokom dana. Kao posledica toga javljaju se nepotrebna čekanja, povećana potrošnja goriva i smanjena efikasnost saobraćajne mreže. Jedno od savremenih rešenja za prevazilaženje ovih problema jeste sistem Yuttraffic awareAI, koji koristi kamere i algoritme mašinskog učenja za kontinuirano praćenje saobraćaja. Sistem omogućava detekciju, klasifikaciju i praćenje više vrsta učesnika u saobraćaju u realnom vremenu, pri čemu se dobijeni podaci koriste za optimizaciju rada raskrsnice [1,2].



Slika 1. Prikaz funkcionisanja sistema Yuttraffic awareAI na raskrsnici

Na slici 1 prikazan je primer primene sistema Yuttraffic awareAI na urbanoj raskrsnici. Višekamerna konfiguracija omogućava kontinuirano posmatranje kompletne zone raskrsnice i kreiranje digitalnog prikaza saobraćajne situacije u realnom vremenu. Obeležene zone prikazuju različite funkcionalnosti sistema:

- praćenje saobraćajnih tokova motornih vozila kroz raskrscopicu;
- detekciju i analizu konfliktnih zona između učesnika u saobraćaju;
- detekciju pešaka radi aktiviranja ili produženja zelenog svetla;
- identifikaciju biciklista i drugih ranjivih učesnika u saobraćaju;
- praćenje manevara skretanja i potencijalno opasnih situacija.

Sistem koristi algoritme mašinskog učenja za klasifikaciju i praćenje objekata, pri čemu generiše precizne podatke o kretanju svih učesnika u saobraćaju. Dobijeni podaci omogućavaju adaptivno upravljanje semaforima, što doprinosi povećanju protoka i bezbednosti na raskrscopicama [1,2]. Posebna karakteristika sistema jeste mogućnost multimodalnog upravljanja saobraćajem. Za razliku od tradicionalnih sistema koji su prvenstveno usmereni na motorna vozila, awareAI istovremeno uzima u obzir pešake, bicikliste, kao i sve ostale ranjive učesnike u saobraćaju. Na osnovu detektovanih obrazaca kretanja moguće je produžiti trajanje zelenog svetla za pešake ili bicikliste, kao i prilagoditi signalne planove u skladu sa trenutnim opterećenjem raskrscopicu [1,3].

3.1 Digitalni blizanac raskrscopicu

Jedna od najznačajnijih karakteristika sistema Yuttraffic awareAI jeste mogućnost kreiranja digitalnog blizanca (Digital Twin) raskrscopicu. Digitalni blizanac predstavlja virtuelni model stvarnog saobraćajnog okruženja koji se kontinuirano ažurira podacima prikupljenim sa kamera i drugih izvora podataka [1,2]. Korišćenjem algoritama mašinskog učenja sistem u realnom vremenu detektuje i prati vozila, pešake, bicikliste i druge učesnike u saobraćaju, pri čemu generiše digitalni prikaz njihovog kretanja kroz raskrscopicu. Na osnovu tako formiranog modela moguće je bolje razumeti saobraćajne tokove, identifikovati kritične tačke i optimizovati rad signalizacije [1]. Digitalni blizanci predstavljaju važan element koncepta pametnih gradova, jer omogućavaju simulaciju različitih scenarija upravljanja bez potrebe za intervencijama u realnom saobraćaju. Prikupljeni podaci mogu se koristiti za donošenje kvalitetnijih odluka u procesu planiranja i razvoja saobraćajne infrastrukture [2,3].

4 PREDNOSTI I IZAZOVI PRIMENE AI SISTEMA

Primena veštačke inteligencije u upravljanju saobraćajem donosi brojne prednosti. Najvažnije su povećanje protoka vozila u saobraćaju, smanjenje zagušenja i efikasnije korišćenje postojećih infrastrukturnih kapaciteta. Zahvaljujući preciznoj detekciji pešaka i biciklista povećava se bezbednost ranjivih kategorija učesnika u saobraćaju [1,5]. Dodatna prednost sistema awareAI jeste mogućnost prikupljanja detaljnih statističkih podataka o saobraćajnim tokovima. Takve informacije mogu poslužiti za planiranje novih saobraćajnih rešenja, razvoj pametnih gradova i donošenje kvalitetnijih upravljačkih odluka [2,3].

Primena sistema zasnovanih na video detekciji često otvara pitanje zaštite privatnosti građana. Iz tog razloga sistem Yuttraffic awareAI projektovan je u skladu sa zahtevima Opšte uredbe Evropske unije o zaštiti podataka (GDPR). Obrada podataka vrši se lokalno na uređaju instaliranom uz raskrscopicu, pri čemu se video sadržaj koristi isključivo za potrebe analize saobraćaja [2,3]. Sistem generiše anonimne podatke o kretanju učesnika u saobraćaju i ne skladišti lične podatke niti video snimke koji bi omogućili identifikaciju

pojedina. Na taj način ostvarena je ravnoteža između potrebe za efikasnim upravljanjem saobraćajem i zaštite privatnosti građana [2,3].

Sa druge strane, primena ovakvih sistema podrazumeva određene izazove. Neophodna su značajna finansijska ulaganja u opremu, komunikacionu infrastrukturu i održavanje sistema. Takođe, efikasnost rada može zavisiti od kvaliteta video zapisa, vremenskih uslova i pouzdanosti algoritama za prepoznavanje objekata [2,4].

5 PRIMER PRIMENE SISTEMA AWAREAI

Praktična primena sistema Yuttraffic awareAI pokazuje mogućnosti korišćenja veštačke inteligencije u različitim oblastima upravljanja saobraćajem. Pored optimizacije rada raskrsnica, sistem se koristi i kao podrška modernim inteligentnim transportnim sistemima i autonomnoj mobilnosti. Značajni primeri implementacije realizovani su u Bernu u Švajcarskoj i Gracu u Austriji.

5.1 *Primena sistema awareAI u Bernu*

Grad Bern je među prvim gradovima koji su primenili sistem Yuttraffic awareAI u cilju modernizacije saobraćajne infrastrukture i unapređenja bezbednosti svih učesnika u saobraćaju [5].

Na raskrsnicama opremljenim sistemom awareAI primenjena je video detekcija zasnovana na veštačkoj inteligenciji koja omogućava identifikaciju vozila, pešaka i biciklista u realnom vremenu. Za razliku od tradicionalnih sistema zasnovanih na induktivnim petljama ugrađenim u kolovoz, nova tehnologija obezbeđuje detaljnije informacije o kretanju učesnika u saobraćaju i njihovim međusobnim interakcijama [5].

Poseban fokus projekta bio je na unapređenju bezbednosti pešaka i biciklista. Kada sistem detektuje pešake ili bicikliste na prilazu raskrsnici, moguće je automatski prilagoditi signalne faze i produžiti trajanje zelenog svetla, čime se povećava bezbednost prelaska kolovoza. Istovremeno, analiza saobraćajnih tokova omogućava efikasnije upravljanje signalizacijom i smanjenje vremenskih gubitaka [5].

Nakon uspešno sprovedene test faze, sistem Yuttraffic awareAI uveden je u redovan rad na odabranim lokacijama u Bernu. U okviru projekta modernizacije svetlosne signalizacije na lokacijama Inselplatz i Effinger-/Belpstrasse instalirano je ukupno 16 kamera sa obradom slike u realnom vremenu. Na području Kocherparka primenom sistema awareAI zamenjeno je približno 40% standardne detekcije zasnovane na induktivnim petljama. Pored detekcije motornih vozila, sistem omogućava prepoznavanje pešaka i biciklista i procenu njihovog kretanja pri prilasku raskrsnici. Na osnovu detekcije ranjivih učesnika moguće je zahtevati ciljano produženje zelenog vremena, pri čemu ovakva funkcionalnost može biti od posebnog značaja za slepe i slabovide pešake.

Dostupni javni izvori prvenstveno dokumentuju funkcionalne i operativne efekte implementacije sistema, dok kvantifikovani rezultati poređenja stanja pre i nakon implementacije, kao što su promene broja saobraćajnih nezgoda ili konfliktnih situacija sa pešacima i biciklistima, nisu javno publikovani. Zbog toga se efekti sistema u ovom primeru mogu pouzdano sagledati kroz unapređenje mogućnosti detekcije i adaptivnog upravljanja, dok bi za kvantifikaciju njegovog uticaja na bezbednost bilo potrebno sprovesti odgovarajuću pre–posle analizu.

5.2 *Primena sistema awareAI u Gracu*

Drugi primer primene sistema awareAI realizovan je u austrijskom gradu Gracu u okviru evropskog projekta SHOW, koji se bavi razvojem automatizovane i povezane mobilnosti [6]. Kroz ovaj projekat testiraju se savremena rešenja zasnovana na veštačkoj inteligenciji i kooperativnim inteligentnim transportnim sistemima (C-ITS) sa ciljem povećanja bezbednosti i efikasnosti saobraćaja.

Na više lokacija u Gracu implementirani su sistemi kamera i AI analitike koji omogućavaju kontinuirano praćenje saobraćajnog okruženja i razmenu informacija sa vozilima putem C-ITS komunikacije [6].

Na više lokacija u Gracu implementirani su sistemi kamera i AI analitike koji omogućavaju kontinuirano praćenje saobraćajnog okruženja i razmenu informacija sa vozilima putem C-ITS komunikacije [6]. Poseban primer predstavlja intermodalni saobraćajni čvor Puntigam, kroz koji prolazi trasa automatizovanih vozila u okviru SHOW projekta. Jedan od izazova na ovoj lokaciji predstavlja prolazak automatizovanog vozila kroz autobuski terminal, gde je potrebno pravovremeno utvrditi koja je od autobuskih pozicija slobodna, odnosno nije zauzeta autobusom, kao i obezbediti bezbedno kretanje u okruženju sa velikim brojem ranjivih učesnika u saobraćaju [6,7]. Iz tog razloga je na lokaciji Puntigam implementiran sistem awareAI koji pomoću kamera i lokalne obrade podataka prati definisane zone autobuskih stajališta i utvrđuje njihovu trenutnu zauzetost. Informacije o zauzetosti prosleđuju se lokalnoj C-ITS jedinici (Roadside Unit – RSU), koja ih putem ITS-G5 komunikacionog kanala kontinuirano šalje automatizovanim vozilima. Dobijene informacije integrišu se u sistem za planiranje kretanja vozila i dopunjuju podatke dobijene senzorima samog vozila. Na taj način automatizovano vozilo može automatski da identifikuje i izabere prvu raspoloživu autobusku poziciju, čime se omogućava efikasniji prolazak kroz složeno i dinamično okruženje intermodalnog saobraćajnog čvora [6,7].

Pored toga, značajna primena sistema ostvarena je na signalizovanoj raskrsnici Keplerstraße / Mariengasse, gde je u rad pušten sistem awareAI povezan sa C-ITS Roadside Unit uređajem. Ova raskrsnica predstavlja potencijalno rizičnu lokaciju za bicikliste zbog vozila koja skreću udesno i često kasno uočavaju bicikliste koji prilaze raskrsnici. Takve situacije mogu dovesti do pojave takozvanog „mrtvog ugla“ (blind spot), što povećava rizik od nastanka saobraćajnih nezgoda [6]. Kako bi se povećala bezbednost biciklista, sistem awareAI koristi kamere i algoritme veštačke inteligencije za rano otkrivanje biciklista koji se približavaju biciklističkom prelazu. Nakon detekcije generiše se odgovarajuća C-ITS poruka upozorenja koja se putem ITS-G5 komunikacionog kanala prosleđuje vozilima opremljenim C-ITS tehnologijom. Vozači tako dobijaju blagovremene informacije o prisustvu biciklista i mogu pravovremeno prilagoditi svoje ponašanje u saobraćaju, čime se značajno smanjuje mogućnost nastanka konfliktnih situacija [6].

Za razliku od primene sistema awareAI u Bernu, gde je fokus bio na adaptivnom upravljanju signalizacijom i zaštiti pešaka i biciklista, projekat u Gracu pokazuje mogućnosti integracije sistema sa naprednim komunikacionim tehnologijama i sistemima podrške povezanoj i autonomnoj mobilnosti [6]. Ovaj primer potvrđuje da Yuttraffic awareAI predstavlja fleksibilnu platformu koja se može koristiti za različite potrebe inteligentnih transportnih sistema, od optimizacije rada raskrsnica do povećanja bezbednosti svih učesnika u saobraćaju i razvoja transportnih sistema budućnosti [6].

6 ZAKLJUČAK

Veštačka inteligencija predstavlja jednu od značajnih tehnologija savremenih inteligentnih transportnih sistema i ima sve veću ulogu u detekciji i upravljanju saobraćajem na raskrscima. Kombinacijom kamera, računarskog vida i algoritama mašinskog i dubokog učenja moguće je ostvariti detekciju, klasifikaciju i praćenje različitih kategorija učesnika u saobraćaju u realnom vremenu. Na osnovu tako prikupljenih podataka moguće je prilagođavati rad svetlosne signalizacije trenutnim saobraćajnim zahtevima, što može doprineti smanjenju vremenskih gubitaka, efikasnijem korišćenju raspoloživog kapaciteta raskrsnice i unapređenju bezbednosti saobraćaja.

Sistem Yuttraffic awareAI kompanije Yunex Traffic predstavlja primer rešenja zasnovanog na veštačkoj inteligenciji koje, pored detekcije različitih kategorija učesnika u saobraćaju, omogućava formiranje digitalnog prikaza saobraćajne situacije u realnom vremenu. Na taj način mogu se obezbediti detaljnije informacije o saobraćajnim tokovima i kretanju pojedinih učesnika, koje se mogu koristiti kao podrška adaptivnom upravljanju svetlosnom signalizacijom, analizi saobraćajnih uslova i donošenju upravljačkih odluka.

Analizirani primeri iz Berna i Graca ukazuju na različite mogućnosti primene ovakvih sistema. U Bernu je primena sistema prvenstveno usmerena na unapređenje detekcije učesnika u saobraćaju i prilagođavanje rada svetlosne signalizacije, sa posebnim značajem za pešake i bicikliste. Primeri iz Graca pokazuju mogućnost povezivanja AI detekcije sa C-ITS tehnologijama. Na lokaciji Puntigam informacije o zauzetosti autobuskih pozicija koriste se kao podrška planiranju kretanja automatizovanih vozila kroz složeno intermodalno saobraćajno čvorište, dok se na raskrsnici Keplerstraße/Mariengasse detekcija biciklista koristi za generisanje upozorenja vozilima o potencijalno konfliktnim situacijama.

Prikazani primeri ukazuju na to da primena veštačke inteligencije može proširiti mogućnosti tradicionalnih sistema detekcije i omogućiti kvalitetnije sagledavanje trenutnog stanja na raskrsnici. Poseban potencijal ovih sistema ogleda se u mogućnosti istovremenog praćenja različitih kategorija učesnika u saobraćaju, povezivanja sa adaptivnim upravljanjem i C-ITS komunikacijom, kao i pružanja podrške povezanoj i automatizovanoj mobilnosti. Dalji razvoj i primena ovih tehnologija trebalo bi da budu praćeni analizom njihovih stvarnih efekata na vremenske gubitke, kapacitet i bezbednost saobraćaja, kako bi se njihova efikasnost mogla kvantitativno oceniti u različitim saobraćajnim uslovima.

LITERATURA

- [1] Yunex Traffic, Advanced Perception & Detection - Smart Intersection. Dostupno na: <https://www.yunextraffic.com/portfolio/urban/smart-intersection/advanced-perception-detection/> [yunextraffic.com]
- [2] Yunex Traffic, Yuttraffic awareAI Product Brochure, 2023. [yunextraffic.com]
- [3] Yunex Traffic UK, Yuttraffic awareAI. Dostupno na: <https://uk.yunextraffic.com/portfolio/detection-solutions/yuttraffic-awareai/> [uk.yunextraffic.com]
- [4] Yunex Traffic UK, Yuttraffic awareAI Datasheet, 2025. [uk.yunextraffic.com]
- [5] ITS International, Yuttraffic awareAI deployed in Swiss capital, 29. januar 2025. [itsinternational.com]
- [6] AustriaTech, Digital Infrastructure in the SHOW Project: Exploring Automated Connected

SUMMARY

Traffic Detection and Management Systems at Intersections Supported by Artificial Intelligence

Abstract: Efficient traffic management at urban intersections is one of the key challenges of modern Intelligent Transportation Systems (ITS). Traditional traffic signal systems based on fixed-time signal plans are often unable to respond effectively to dynamic changes in traffic demand and pedestrian movements, resulting in increased delays and reduced safety. This paper investigates the application of camera-based detection systems combined with artificial intelligence methods for the automatic detection and tracking of vehicles and pedestrians in real time. By utilizing artificial intelligence algorithms, reliable recognition and classification of road users can be achieved, providing the basis for adaptive traffic control at intersections. Dynamic adjustment of signal timing and phase sequences contributes to reducing waiting times, increasing traffic flow efficiency, and improving road safety, particularly for pedestrians. The proposed approach represents a significant step toward the development of intelligent traffic signal systems within the framework of smart city initiatives.

Key words: traffic management, artificial intelligence, Aware AI

Alternativna svetlosna signalizacija – alat dinamičkog upravljanja kapacitetom saobraćajnica

Margareta Ilić, ELCOM BGD DOO, Beograd, margareta.ilic@elcombgd.rs

Marko Cvetanović, ELCOM BGD DOO, Beograd, marko.cvetanovic@elcombgd.rs

Stefan Mladenović, ELCOM BGD DOO, Beograd, stefan.mladenovic@elcombgd.rs

Rezime: Savremeni gradovi suočavaju se sa porastom saobraćajne potražnje, dok su mogućnosti proširenja postojeće putne infrastrukture često ograničene. U takvim uslovima, alternativna svetlosna signalizacija sa izmenjivom srednjom saobraćajnom trakom omogućava preraspodelu raspoloživog kapaciteta između smerova kretanja bez značajnih građevinskih intervencija.

U radu su prikazani principi rada, sistemska struktura, bezbednosni zahtevi i pouzdanost alternativne svetlosne signalizacije, sa posebnim osvrtom na fazni prelaz između režima korišćenja srednje trake i primere realizovanih sistema. Kao pravac daljeg razvoja razmatra se dinamičko upravljanje, kod kojeg bi se režim prilagođavao detektovanim uslovima u saobraćajnom toku.

Ključne reči: alternativna svetlosna signalizacija, dinamičko upravljanje kapacitetom saobraćajnica, izmenjiva saobraćajna traka, pouzdanost sistema

1 UVOD

Razvoj inteligentnih transportnih sistema omogućio je da se upravljanje saobraćajem sve više zasniva na podacima prikupljenim neposredno sa saobraćajne mreže. Kontinuirano praćenje uslova u saobraćajnom toku omogućava prilagođavanje načina upravljanja stvarnim saobraćajnim zahtevima, što je posebno značajno na saobraćajnicama kod kojih se tokom dana menja odnos opterećenja između suprotnih smerova kretanja.

Jedno od rešenja za takve uslove jeste alternativna svetlosna signalizacija sa izmenjivom srednjom saobraćajnom trakom. Promenom smera njenog korišćenja moguće je menjati broj raspoloživih traka po smerovima, čime se kapacitet preraspodeljuje bez značajnih građevinskih intervencija [1].

Postojeći sistemi menjaju smer korišćenja srednje trake prema unapred definisanim vremenskim planovima, zasnovanim na očekivanoj dnevnoj raspodeli saobraćaja. Kako stvarni uslovi mogu odstupati od pretpostavljenih vrednosti, podaci prikupljeni u realnom vremenu omogućavaju razvoj dinamičkog upravljanja, pri kojem bi se režim prilagođavao detektovanim uslovima na osnovu definisanih parametara, graničnih vrednosti i upravljačke logike [2]. Promena smera istovremeno zahteva jasno definisane fazne prelaze i pouzdano funkcionisanje svih komponenti, zbog čega su u radu razmotreni saobraćajni aspekt upravljanja, sistemska struktura, bezbednosni zahtevi i primeri realizovanih sistema.

2 ALTERNATIVNA SVETLOSNA SIGNALIZACIJA U FUNKCIJI UPRAVLJANJA KAPACITETOM SAOBRAĆAJNICA

Saobraćajni aspekt primene alternativne svetlosne signalizacije obuhvata izbor režima korišćenja srednje trake u skladu sa promenama saobraćajnih zahteva. Pri donošenju odluke o promeni režima potrebno je istovremeno sagledati uslove u oba smera kretanja, kako bi preraspodela raspoloživog kapaciteta odgovarala odnosu saobraćajnih zahteva po smerovima.

Za razvoj upravljanja prema detektovanim uslovima posebno je značajna gustina saobraćajnog toka, jer ukazuje na koncentraciju vozila duž posmatrane deonice i omogućava uočavanje promena koje ne moraju biti jasno izražene samo vrednošću protoka. U kombinaciji sa podacima o protoku i brzini, gustina može predstavljati jedan od ulaznih parametara za definisanje kriterijuma promene režima. Istraživanja u oblasti upravljanja izmenjivim trakama takođe razmatraju gustinu, odnosno zauzeće, kao osnovu za donošenje odluke o promeni smera [1], [2].

Granične vrednosti merodavnih saobraćajnih parametara treba definisati u skladu sa karakteristikama konkretnog koridora i uslovima u oba smera kretanja. Odluka o promeni režima zato ne bi trebalo da se zasniva na pojedinačnoj vrednosti jednog parametra, već na zajedničkoj oceni uslova relevantnih za donošenje upravljačke odluke.

3 SISTEMSKA STRUKTURA ALTERNATIVNE SVETLOSNE SIGNALIZACIJE

Sistem alternativne svetlosne signalizacije čine međusobno povezane hardverske i softverske komponente namenjene nadzoru i upravljanju izmenjivom srednjom trakom. Hijerarhijska organizacija obuhvata lokalni i centralni nivo, čime su omogućeni razmena podataka o stanju sistema i uslovima u saobraćajnom toku, kao i prosleđivanje upravljačkih komandi kojima se određuju signalni pojmovi i režim korišćenja srednje trake.

3.1 Hardverska struktura sistema

Osnovne elemente opreme predstavljaju portali sa LED displejima raspoređeni duž posmatrane deonice. Signalnim pojmovima označavaju se dozvoljeno i zabranjeno korišćenje pojedinih traka, kao i obaveza napuštanja srednje trake tokom promene režima.

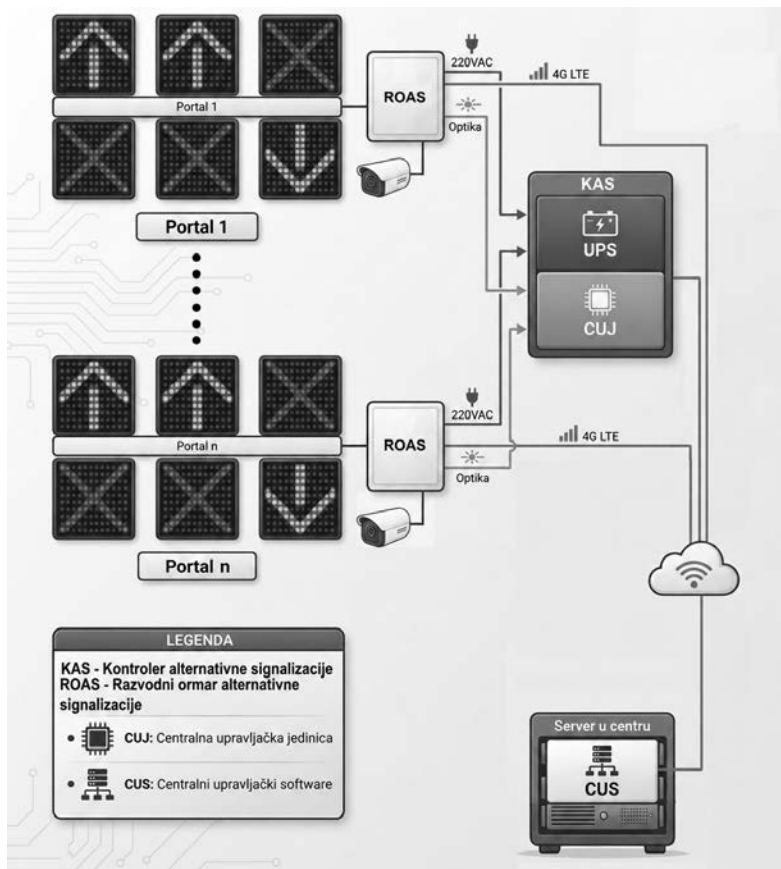
Na portalima su postavljene i kamere za detekciju saobraćaja, kojima se prikupljaju podaci relevantni za praćenje uslova u saobraćajnom toku i utvrđivanje zauzetosti srednje trake tokom promene režima njenog korišćenja.

Uz svaki portal nalazi se razvodni orman alternativne signalizacije (ROAS), preko kojeg se oprema pripadajućeg portala povezuje sa upravljačkim delom sistema. ROAS predstavlja lokalnu tačku povezivanja signalne i detekcione opreme portala.

Kontroler alternativne signalizacije (KAS) obuhvata centralnu upravljačku jedinicu (CUJ), koja omogućava izvršavanje upravljačkih komandi, kontrolu rada povezane opreme i razmenu podataka sa centralnim upravljačkim softverom (CUS). Komunikacija sa opremom pojedinačnih portala, povezanom preko pripadajućih ROAS-ova, ostvaruje se prvenstveno putem optičke mreže, dok 4G LTE predstavlja rezervni komunikacioni kanal.

Energetski deo sistema obuhvata napajanje opreme na portalima i centralne upravljačke opreme. U okviru KAS-a predviđen je UPS koji omogućava nastavak rada centralne upravljačke jedinice u slučaju prekida osnovnog napajanja.

Međusobna povezanost osnovnih hardverskih komponenti, komunikacionih veza i centralnog nivoa upravljanja prikazana je na Slici 1.



Slika 1: Sistemska struktura alternativne svetlosne signalizacije

3.2 Softverska struktura sistema

Centralni upravljački softver (CUS) predstavlja najviši nivo upravljanja i omogućava izbor režima rada, praćenje izvršenja komandi, pregled stanja opreme i komunikacije, kao i evidentiranje alarma i događaja. Objedinjavanjem podataka sa terena omogućavaju se celovit nadzor sistema i pravovremeno uočavanje nepravilnosti.

Osnovne funkcionalnosti korisničkog interfejsa — upravljanje režimima i vremenskim planovima (a), konfiguracija faza (b) i pregled signalnih pojmova na portalima (c) — prikazane su na Slici 2. Promena režima zahteva definisan redosled aktivnosti i potvrdu odgovarajućih stanja sistema, što predstavlja jedan od osnovnih bezbednosnih zahteva.



Slika 2: Prikaz osnovnih funkcionalnosti centralnog upravljačkog softvera (ELCOM BGD d.o.o., Beograd)

4 BEZBEDNOSNI ASPEKTI I POUZDANOST SISTEMA

Primena izmenjive srednje saobraćajne trake postavlja posebne bezbednosne zahteve, jer promena smera njenog korišćenja podrazumeva prelazak između dva suprotna režima. Bezbedno funkcionisanje sistema zasniva se na kontrolisanom prelasku između režima, usklađenom radu svih elemenata i definisanom postupanju u slučaju otkaza pojedinačnih komponenti.

4.1 Bezbedna promena smera korišćenja srednje trake

Promena smera korišćenja srednje trake realizuje se faznim prelazom, odnosno unapred definisanom sekvencom promena signalnih pojmova. Srednja traka najpre se zatvara za smer kojem je bila dodeljena, a njeno otvaranje za suprotni smer dozvoljava se tek nakon završetka procesa pražnjenja. Tokom prelaznog perioda duž deonice se postepeno aktiviraju žute trepćuće strelice usmerene ka susednoj traci, kojima se vozačima nalaže napuštanje srednje trake.

Redosled aktiviranja signalnih pojmova i vremenski intervali između promena definišu se u konfiguraciji tranzicija centralnog upravljačkog softvera. Time se sprečava istovremeno korišćenje srednje trake iz suprotnih smerova. Faze promene režima prikazane su na Slici 3.

Ukoliko su raskrsnice deo sistema, promena režima alternativne svetlosne signalizacije mora biti usklađena sa radom svetlosnih signala na njima. Aktiviranje novog režima korišćenja srednje trake podrazumeva primenu odgovarajućih faza i vremenskih planova na raskrsnicama, kako bi korišćenje saobraćajnih traka bilo usklađeno sa dozvoljenim smerovima kretanja. Promena režima može se izvršiti tek nakon uspostavljanja odgovarajućih uslova na svim povezanim delovima sistema.

Tranzicija: A1-B1

Obrisi

ID:

A1-B1

Od faze:

A1

Do faze:

B1

Trajanje (sekunde):

370

Promene

P1A2

Display:

P1A2

Sekunda:

5

Obrisi

P1A2

Display:

P1A2

Sekunda:

15

Obrisi

P2A2

Display:

P2A2

Sekunda:

58

Obrisi

P2A2

Display:

P2A2

Sekunda:

68

Obrisi

P3A2

Display:

P3A2

Sekunda:

112

Obrisi

P1B2

Display:

P1B2

Sekunda:

122

Obrisi

Slika 3: Faze promene smera korišćenja izmenjive srednje saobraćajne trake (ELCOM BGD d.o.o., Beograd)

4.2 Pouzdanost i redundantnost sistema

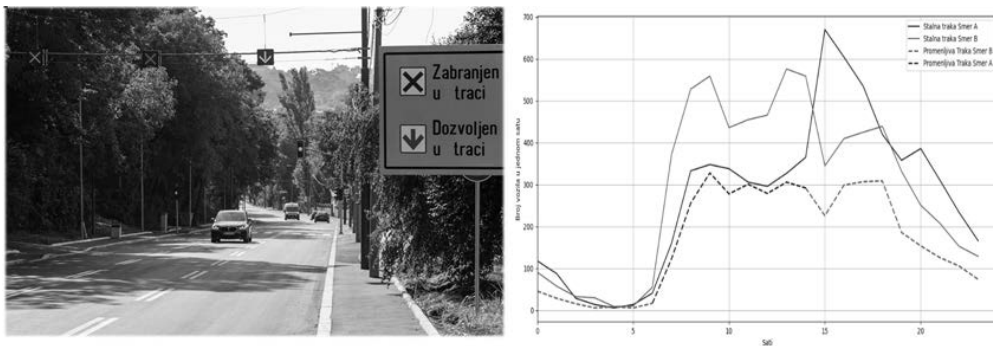
Pouzdan rad sistema zahteva kontinuitet razmene podataka, prenosa upravljačkih komandi i napajanja opreme. Optička mreža predstavlja primarni komunikacioni kanal, dok 4G LTE omogućava održavanje veze u slučaju prekida optičke veze. Kontinuitet napajanja centralne opreme obezbeđuje se UPS uređajem. Gubitak veze, prekid napajanja ili neusaglašeno stanje elemenata ne smeju dovesti do situacije u kojoj smer korišćenja srednje trake nije jednoznačno definisan.

Izvršenje upravljačkih komandi i međusobna usklađenost elemenata neprekidno se kontrolišu. Ako se detektuje nepravilnost ili prekid veze, ili ako izostane potvrda izvršenja komande, promena režima se obustavlja. Kada uslovi za bezbedno izvršenje nisu ispunjeni, sistem prelazi u bezbedno stanje u kojem je korišćenje srednje trake onemogućeno.

5 REALIZOVANI SISTEMI ALTERNATIVNE SVETLOSNE SIGNALIZACIJE

Sistemi alternativne svetlosne signalizacije primenjeni su na više poteza u Beogradu na kojima se promenom smera korišćenja srednje trake omogućava preraspodela raspoloživog kapaciteta po smerovima kretanja. Među realizovanim sistemima su:

- Ulica Teodora Drajzera;
- Bulevar kneza Aleksandra Karađorđevića;
- Bulevar vojvode Mišića;
- Ulica Tošin bunar.



Slika 4: Primer primene alternativne svetlosne signalizacije u Ulici Teodora Drajzera u Beogradu (levo) i časovni protoci po trakama na sredini posmatrane deonice (desno) [3]

Za sistem alternativne svetlosne signalizacije u Ulici Teodora Drajzera, prikazan na Slici 4, analizirani su podaci dobijeni 24-časovnim merenjem na portalu postavljenom na sredini posmatrane deonice [3]. Prema prikazanoj obradi podataka, srednjom trakom ostvareno je približno 25% ukupnog dnevnog protoka smeru A i 21% smeru B. Referentni scenario podrazumeva saobraćajnicu bez srednje trake, sa jednom trakom po smeru. Opterećenje u ovom scenariju procenjeno je računskim dodavanjem izmerenog protoka srednje trake protoku stalne trake odgovarajućeg smeru u istom časovnom intervalu, uz pretpostavku nepromenjenog saobraćajnog zahteva. Tako dobijeno opterećenje dostiže približno 670 voz/h u smeru A i 750 voz/h u smeru B.

6 ZAKLJUČAK

Alternativna svetlosna signalizacija sa izmenjivom srednjom trakom omogućava preraspodelu raspoloživog kapaciteta između smerova u skladu sa promenama saobraćajne potražnje, čime se postojeća infrastruktura koristi efikasnije bez značajnih građevinskih intervencija. Bezbedna primena zahteva kontrolisanu promenu režima, usklađen rad svih elemenata i pouzdanu komunikacionu i energetska infrastrukturu. Uvođenju sistema treba da prethodi saobraćajna analiza kojom se utvrđuju opravdanost preraspodele kapaciteta i odgovarajući režimi korišćenja srednje trake.

Dalji razvoj može biti usmeren ka dinamičkom upravljanju, kod kojeg bi se promena režima, pored vremenskih planova, zasnivala i na detektovanim uslovima u saobraćajnom toku, uz jasno definisane kriterijume i bezbednosna ograničenja.

LITERATURA

- [1] Ampountolas, K., Furtado, H. S., & Carlson, R. C. (2018). Motorway tidal flow lane control. IFAC-PapersOnLine, 51(9), 279–284.
- [2] Li, W., Li, J., & Han, D. (2023). Dynamic lane reversal strategy in intelligent transportation systems in smart cities. Sensors, 23, 7402.
- [3] ELCOM BGD d.o.o. (2025). Analiza uticaja sistema alternativne signalizacije na saobraćaj u ulici Teodora Drajzera, Beograd.

SUMMARY**Reversible lane control – a tool for dynamic road capacity management**

Abstract: Modern cities are facing increasing traffic demand, while opportunities for expanding existing road infrastructure are often limited. Under such conditions, a reversible lane control system enables the redistribution of available capacity between opposing directions without significant construction interventions.

The paper presents the basic operating principles and system structure of reversible lane control, as well as system safety and reliability requirements, with particular emphasis on the phased transition between different operating modes of the reversible centre lane. Implemented systems are also presented. As a direction for further development, dynamic control is considered, in which decisions on changes in operating modes would be based on detected traffic flow conditions, enabling available capacity to be adjusted to changes in directional traffic demand.

Keywords: lane-use control signals, dynamic road capacity management, tidal-flow lanes, system reliability

Optimizacija rada semaforizovanih raskrsnica u širem području oko zone radova

Aleksandra Obradović, Yunex Traffic, Beograd,

aleksandra.obradovic.ext@yunextraffic.com

Katarina Tadić, Yunex Traffic, Beograd, katarina.tadic@yunextraffic.com

Ivana Drešević, Yunex Traffic, Beograd, ivana.dreševic@yunextraffic.com

Rezime: Upravljanje saobraćajem na semaforizovanim raskrsnicama u širem području oko zone radova predstavlja značajan izazov usled promena uslova saobraćaja. Prisustvo radova na putu, odnosno potpuno zatvaranje dela saobraćajnice, dovodi do promena u raspodeli saobraćajnih tokova na mreži, što se manifestuje kroz promenu uobičajnih ruta kretanja vozila i povećano opterećenje u širem području oko zone radova. Savremeni pristupi upravljanju saobraćajem na raskrsnicama omogućava prilagođavanje signalnih planova u skladu sa promenljivim uslovima u saobraćajnom toku. Poseban značaj ima pravovremeno prepoznavanje promena u opterećenju i njihovo uvažavanje prilikom donošenja upravljačkih odluka, čime se doprinosi unapređenju ukupnih performansi sistema.

Gljučne reči: upravljanje saobraćajem, zona radova, signalni planovi, saobraćajni tokovi

1 UVOD

U urbanim saobraćajnim mrežama zone radova predstavljaju jedan od najčešćih uzroka privremenih izmena saobraćaja. Zatvaranje ili ograničavanje kapaciteta pojedinih saobraćajnica i raskrsnica dovodi do promene uobičajenih ruta kretanja vozila i preraspodele saobraćajnih tokova na okolnu mrežu. Posledice ovakvih promena najčešće se ogledaju kroz povećano opterećenje pojedinih raskrsnica, duža vremena putovanja i promene u radu sistema upravljanja saobraćajem. Poseban izazov predstavlja pravovremeno prilagođavanje rada semaforizovanih raskrsnica novonastalim uslovima. Savremeni sistemi upravljanja saobraćajem koriste podatke sa detektora kako bi prepoznali promene u opterećenju i prilagodili signalne programe stvarnim potrebama saobraćajnog toka. Predmet ovog rada jeste analiza uticaja zatvaranja raskrsnice Antifašističke brobe – pešački prelaz kod železničke stanice "Novi Beograd" (R3) na funkcionisanje okolne mreže semaforizovanih raskrsnica. Posebna pažnja posvećena je promenama protoka vozila, okupiranosti detektorskih petlji i dodeljenog zelenog vremena na raskrsnici Nikole Dobrovića – Omladinskih brigada (R1) koja predstavlja jednu od značajnijih raskrsnica u zoni uticaja radova. Analiza je zasnovana na podacima prikupljenim sa detektorskih petlji pre i nakon zatvaranja raskrsnice. Cilj rada je da se utvrdi na koji način promene saobraćajnih tokova izazvane zonom radova utiču na rad adaptivnog sistema upravljanja, kao i da se proceni sposobnost sistema da kroz promenu signalnih parametara odgovori na novonastale uslove saobraćaja.

2 OSNOVE UPRAVLJANJA SAOBRAĆAJEM NA SEMAFORIZOVANIM RASKRSNICAMA

Upravljanje saobraćajem na semaforizovanim raskrsnicama predstavlja jedan od ključnih elemenata organizacije saobraćaja u urbanim sredinama, sa ciljem obezbeđivanja efikasnog i bezbednog saobraćajnog toka. Funkcionisanje semaforizovanih raskrsnica zasniva se na primeni signalnih planova kojima se definišu trajanje ciklusa, raspodela zelenih vremena i redosled signalnih faza. Ovi parametri određuju način raspodele raspoloživog kapaciteta između različitih saobraćajnih tokova i imaju značajan uticaj na performanse raskrsnice (Webster, 1958). Analiza rada raskrsnica zasniva se na parametrima saobraćajnog toka, kao što su protok, brzina i gustina, kao i na pokazateljima poput vremena čekanja i vremena putovanja. Njihovom primenom moguće je proceniti nivo usluge i identifikovati potencijalne probleme u funkcionisanju saobraćajnog sistema (Čelar et al., 2020). U zavisnosti od načina upravljanja razlikuju se fiksni i adaptivni režimi rada. Fiksni režimi zasnivaju se na unapred definisanim signalnim planovima, dok adaptivni sistemi koriste podatke prikupljene u realnom vremenu kako bi automatski prilagođavali signalne parametre promenljivim uslovima saobraćaja. Zahvaljujući mogućnosti prilagođavanja trenutnom opterećenju, adaptivni sistemi omogućavaju efikasnije korišćenje raspoloživog kapaciteta i posebno su pogodni za primenu u privremenim uslovima saobraćaja i promena u raspodeli tokova (Papageorgiou et al., 2003). Pored upravljanja pojedinačnim raskrsnicama, značajan aspekt predstavlja i koordinacija rada više raskrsnica u okviru jedinstvene saobraćajne mreže. Koordinisano upravljanje omogućava ostvarivanje kontinuiteta saobraćajnog toka kroz koridore sa većim opterećenjem i doprinosi smanjenju zadržavanja vozila.

3 UTICAJ ZONE RADOVA NA SAOBRAĆAJNI TOK

Zone radova predstavljaju značajan izvor promene u funkcionisanju saobraćajne mreže, naročito u urbanim sredinama sa visokim intenzitetom saobraćaja. Ograničavanje ili zatvaranje pojedinih saobraćajnica i raskrsnica menja raspoloživi kapacitet mreže i dovodi do preraspodele saobraćajnih tokova na alternativne pravce kretanja (FHWA, 2004). Povećan intenzitet saobraćaja može izazvati produženje vremena putovanja, povećanje dužine kolona i veću iskorišćenost kapaciteta infrastrukture. Raskrsnice predstavljaju najosetljivije tačke saobraćajne mreže u uslovima promena tokova, jer se upravo na njima najdirektnije manifestuju efekti povećanog opterećenja (Eom & Kim, 2020). Promene u intenzitetu i strukturi saobraćajnih tokova neposredno utiču na rad semaforizovanih raskrsnica. Signalni planovi koji su projektovani za uobičajene uslove saobraćaja često postaju neadekvatni u uslovima poremećaja, što može dovesti do povećanja kašnjenja, smanjenja brzine kretanja i povećanja broja zaustavljanja vozila (Qadri et al., 2020). Dodatno, povećano opterećenje jedne raskrsnice može proizvesti lančane efekte na susedne raskrsnice, zbog čega se analiza sve češće sprovodi na nivou cele mreže umesto na nivou pojedinačnih lokacija (Gao et al., 2020). U ovakvim uslovima poseban značaj imaju sistemi adaptivnog upravljanja koji koriste podatke prikupljene sa detektora za prilagođavanje signalnih planova u realnom vremenu.

Optimizacija zelenih vremena i koordinacija rada više raskrsnica omogućavaju efikasnije korišćenje raspoloživog kapaciteta mreže i predstavljaju jednu od najefikasnijih mera za ublažavanje posledica zona radova (Qadri et al., 2020). Savremena istraživanja

pokazuju da dinamičko upravljanje signalizacijom ostvaruje bolje rezultate od fiksnih signalnih planova u uslovima promenljivog opterećenja i poremećaja izazvanih radovima na putnoj mreži (Høye et al., 2024).

4 ANALIZA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je sprovedeno sa ciljem analize uticaja zatvaranja jedne semaforizovane raskrsnice na raspodelu saobraćajnih tokova i rad sistema upravljanja saobraćajem u okolnoj mreži raskrsnica. Analiza je obuhvatila četiri semaforizovane raskrsnice i to:

1. Nikole Dobrovića – Omladinskih brigada (R1),
2. Bulevar Heroja sa Košara – Bulevar Crvene Armije (R2),
3. Antifašističke brobe – pešački prelaz kod železničke stanice "Novi Beograd" (R3) i
4. Vladimira Popovića – Milutina Milankovića – Jurija Gagarina (R4).

Ulazni podaci korišćeni u istraživanju prikupljeni su putem detektorskih petlji postavljenih na analiziranim raskrsnicama. U periodu od 15.01.2026. godine došlo je do zatvaranja deonice Antifašističke borbe, od ulice Jurija Gagarina do ulice Milutina Milankovića. Za potrebe analize, posmatrana su dva vremenska perioda:

- 14.01.2026. godine, kao period pre zatvaranja raskrsnice;
- 21.01.2026. godine, kao period nakon zatvaranja raskrsnice usled izvođenja radova.

Važno je naglasiti da je raskrsnica R1 u oba analizirana perioda funkcionisala u adaptivnom režimu upravljanja. Prema tome, poređenje stanja pre i nakon zatvaranja raskrsnice R3 ne predstavlja poređenje različitih režima upravljanja, već analizu reakcije istog adaptivnog sistema na promenu saobraćajnog zahteva. Zatvaranje raskrsnice R3 dovelo je do preraspodele saobraćajnih tokova u mreži, dok je adaptivni sistem na raskrsnici R1, na osnovu podataka sa detektora, reagovao prilagođavanjem signalnih parametara registrovanim promenama opterećenja. Analiza je sprovedena na osnovu celodnevnih podataka kako bi bile obuhvaćene promene saobraćajnih tokova tokom vršnih i vanvršnih perioda opterećenja. Ovakav pristup omogućava realniju procenu uticaja zatvaranja raskrsnice, kao i celog isključenja sa mosta na Adi ka R3, na funkcionisanje saobraćajne mreže u odnosu na analizu zasnovanu isključivo na jednom časovnom intervalu. Posebna pažnja posvećena je promenama intenziteta saobraćajnih tokova na prilazima raskrsnica, kao i načinu na koji je sistem upravljanja reagovao na novonastale uslove. Analizirano je dodeljeno vreme zelenog signala po signalnim grupama, odnosno promene signalnih programa nastale kao odgovor na preraspodelu saobraćajnih tokova nakon zatvaranja raskrsnice. Na osnovu registrovanih protoka vozila izvršena je identifikacija pravaca koji su preuzeli najveći deo preusmerenog saobraćaja. Zatim su analizirane promene u radu signalizacije kroz korekcije trajanja zelenog vremena i promene u raspodeli signalnog ciklusa između pojedinih prilaza. Na taj način sagledana je sposobnost sistema da se adaptira promenjenim uslovima saobraćaja i obezbedi efikasnije korišćenje raspoloživog kapaciteta mreže.

4.1 Rezultati istraživanja

Analiza prikupljenih podataka (Tabela 1) pokazala je da je zatvaranje posmatrane raskrsnice uticalo na promenu raspodele saobraćajnih tokova u širem području zone radova. Na svim analiziranim raskrsnicama registrovane su promene intenziteta

saobraćaja, pri čemu je deo vozila preusmeren na alternativne pravce kretanja. Intenzitet promena nije bio jednak na svim lokacijama, već je zavisio od položaja raskrsnice u mreži i njene uloge u prihvatanju preusmerenih tokova.

Tabela 1 Protok vozila (voz/dan) pre i tokom izvođenja zone radova na raskrsnici R3

Naziv signalne grupe Broj raskrsnice	Pre zone radova				Nakon zone radova			
	SG10	SG20	SG30	SG40	SG10	SG20	SG30	SG40
R1	21.191	16.387	15.262	18.477	23.895	17.833	16.803	23.872
R2	/ ¹	19.995	4.216	18.892	/	23.294	5.193	24.769
R4	13.366	21.224	8.057	13.366	14.554	24.791	12.150	14.554

Poređenjem podataka pre i nakon zatvaranja raskrsnice uočene su promene opterećenja na okolnim raskrsnicama, što ukazuje na prostiranje efekata zone radova kroz širu saobraćajnu mrežu. Za detaljnu analizu odabrana je raskrsnica R1, koja predstavlja jednu od ključnih raskrsnica u posmatranom području, sa značajnom ulogom u distribuciji saobraćajnih tokova i povezivanju glavnih saobraćajnih pravaca. Zbog svoje funkcionalne važnosti i visokog stepena opterećenja, ova raskrsnica je pogodna za analizu uticaja promena saobraćajnih tokova na rad adaptivnog sistema upravljanja saobraćajem.

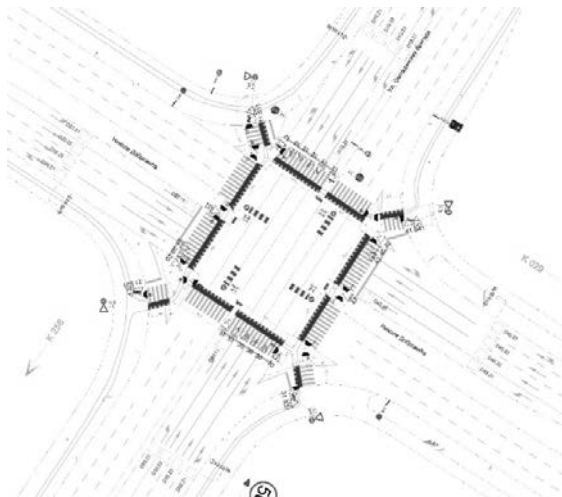
4.2 Analiza raskrsnice Nikole Dobrovića – Omladinskih brigada (R1)

Za raskrsnicu Nikole Dobrovića – Omladinskih brigada (R1) analizirani su podaci o protoku vozila, okupiranosti detektorskih petlji i maksimalno dodeljenom zelenom vremenu. Analiza je izvršena za karakteristične periode dnevnog opterećenja:

- jutarnji vršni period od 07:00 do 09:00 h,
- podnevni period od 11:00 do 13:00 h,
- popodnevni vršni period od 16:00 do 18:00 h.

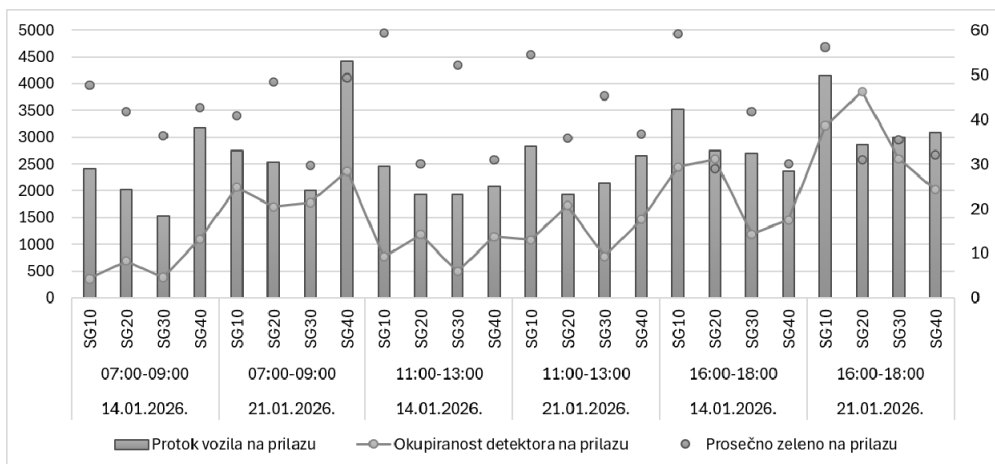
Posmatrani pokazatelji analizirani su za period pre zatvaranja raskrsnice Antifašističke brobe – pešački prelaz kod železničke stanice "Novi Beograd" i za period nakon uvođenja zone radova. Na slici 1 prikazana je situacioni plan raskrsnice Nikole Dobrovića – Omladinskih brigada (R1).

¹ Signalna grupa SG10 na raskrsnici R2 nije uključena u analizu jer je predmetni prilaz zatvoren za saobraćaj



Slika 1 Situacioni plan raskrsnice Nikole Dobrovića – Omladinskih brigade (R1)

Na grafikonu 1 prikazani su protok vozila, okupiranost detektora i prosečno dodeljeno zeleno vreme za signalne grupe SG10, SG20, SG30 i SG40 u periodima 07:00-09:00 h, 11:00-13:00 h i 16:00-18:00 h, za stanje pre zatvaranja raskrsnice (14.01.2026.) i nakon zatvaranja raskrsnice (21.01.2026.).

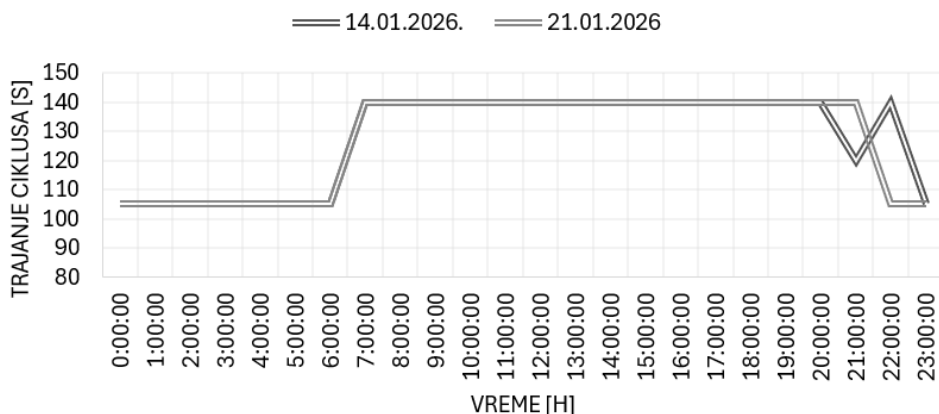


Grafikon 1 Poređenje protoka vozila, okupiranosti detektora i prosečnog zelenog vremena na raskrsnici R1 u uslovima pre i nakon zatvaranja raskrsnice R3

Analizom rezultata utvrđeno je da je zatvaranje raskrsnice R3 izazvalo promene u raspodeli saobraćajnih tokova na okolnoj mreži, što se posebno odrazilo na rad raskrsnice R1. Nakon uvođenja zone radova registrovano je povećanje protoka vozila na više signalnih grupa, pri čemu su najizraženije promene zabeležene tokom jutarnjeg i popodnevog vršnog perioda. Najveći porast protoka registrovan je na signalnoj grupi SG40 u jutarnjem periodu od 07:00 do 09:00 časova (+39%), dok su značajna povećanja zabeležena i na signalnim grupama SG30 (+31%) i SG20 (+25%). U popodnevnom vršnom

periodu od 16:00 do 18:00 časova povećanje protoka bilo je posebno izraženo na signalnoj grupi SG40 (+30%), što ukazuje da je deo saobraćaja preusmerenog zbog zatvaranja raskrsnice R3 koristio upravo pravce koji prolaze kroz raskrsnicu R1. Povećanje protoka praćeno je povećanjem okupiranosti detektorskih petlji na gotovo svim analiziranim prilazima. Najveća promena registrovana je na signalnoj grupi SG10 u jutarnjem periodu, gde je okupiranost povećana sa 4% na 25%. Iako je ovako veliki procenat posledica relativno male početne vrednosti, dobijeni rezultati jasno ukazuju na značajno povećanje prisustva vozila u zoni detekcije nakon zatvaranja raskrsnice R3. Tokom popodnevnog vršnog perioda okupiranost je na pojedinim prilazima prelazila 40%, što potvrđuje da je raskrsnica R1 preuzela povećano opterećenje u analiziranom periodu. Istovremeno je uočena reakcija adaptivnog sistema upravljanja saobraćajem kroz promene dodeljenog zelenog vremena. Na prilazima sa povećanim opterećenjem sistem je prilagođavao signalne parametre kako bi omogućio propuštanje većeg broja vozila tokom signalnog ciklusa. Najveće povećanje prosečnog zelenog vremena registrovano je na signalnoj grupi SG20 u periodu od 11:00 do 13:00 časova (+20%), dok je na signalnoj grupi SG40 u istom periodu povećanje iznosilo 19,4%. Ovakvo ponašanje ukazuje da je sistem uspešno registrovao promene u opterećenju putem detektorskih petlji i prilagodio rad signalizacije novonastalim uslovima.

Na prilazima sa povećanim opterećenjem sistem je reagovao preraspodelom dodeljenog zelenog vremena između signalnih grupa u okviru nepromenjenog trajanja ciklusa u analiziranim periodima. Najveće povećanje prosečnog zelenog vremena registrovano je na signalnoj grupi SG20 u periodu od 11:00 do 13:00 časova (+20%), dok je na signalnoj grupi SG40 u istom periodu povećanje iznosilo 19,4%. Ovakvo ponašanje ukazuje da je sistem uspešno registrovao promene u opterećenju putem detektorskih petlji i prilagodio rad signalizacije novonastalim uslovima.



Grafikon 2 Poređenje trajanja signalnog ciklusa na raskrsnici R1 pre i nakon zatvaranja raskrsnice R3

Pored promene dodeljenog zelenog vremena, analizirano je i trajanje signalnog ciklusa, kako bi se utvrdilo da li je reakcija adaptivnog sistema na promenu saobraćajnog zahteva ostvarena promenom ukupnog trajanja ciklusa ili preraspodelom raspoloživog

zelenog vremena između signalnih grupa. Kao što je prikazano na Grafikonu 2, tokom svih karakterističnih perioda obuhvaćena detaljnom analizom (07:00–09:00 h, 11:00–13:00 h i 16:00–18:00 h), trajanje ciklusa iznosilo je 140 s i pre i nakon zatvaranja raskrsnice R3.

Dobijeni rezultati pokazuju da se reakcija adaptivnog sistema u analiziranim periodima nije manifestovala kroz promenu trajanja ciklusa, već kroz preraspodelu zelenog vremena između signalnih grupa u okviru ciklusa nepromenjenog trajanja. Budući da je trajanje ciklusa ostalo nepromenjeno, promene dodeljenog zelenog vremena istovremeno predstavljaju promene relativnog udela zelenog vremena pojedinih signalnih grupa u ciklusu. Povećanje ovog odnosa povećava raspoloživi deo ciklusa namenjen opsluživanju odgovarajuće signalne grupe

5 ZAKLJUČAK

Zone radova predstavljaju značajan izvor poremećaja u funkcionisanju urbanih saobraćajnih mreža, jer dovode do promene uobičajenih ruta kretanja vozila i preraspodele saobraćajnih tokova na okolne saobraćajnice i raskrsnice. U okviru ovog rada analiziran je uticaj zatvaranja raskrsnice R3 na funkcionisanje okolne mreže, sa posebnim osvrtnom na raskrsnicu R1 kao jednu od ključnih raskrsnica u zoni uticaja radova. Analiza podataka prikupljenih sa detektorskih petlji pokazala je da je nakon zatvaranja raskrsnice R3 došlo do povećanja opterećenja na pojedinim prilazima raskrsnice R1. Najveće povećanje protoka vozila registrovano je na signalnoj grupi SG40 u jutarnjem vršnom periodu (07:00–09:00 h) i iznosilo je 39%, dok je na signalnoj grupi SG30 povećanje iznosilo 31%. Istovremeno je zabeležen porast okupiranosti detektorskih petlji na svim posmatranim prilazima, pri čemu je najveća promena registrovana na signalnoj grupi SG10, gde je okupiranost povećana sa 4% na 25%. Rezultati takođe pokazuju da je sistem upravljanja saobraćajem prepoznao promene u opterećenju i reagovao prilagođavanjem signalnih parametara. Najveće povećanje prosečnog zelenog vremena registrovano je na signalnoj grupi SG20 u periodu od 11:00 do 13:00 časova i iznosilo je 20%, dok je na signalnoj grupi SG40 povećanje iznosilo 19,4%. Promene dodeljenog zelenog vremena ukazuju na adaptivnu reakciju sistema u cilju efikasnijeg opsluživanja povećanih saobraćajnih zahteva. Dobijeni rezultati potvrđuju da se efekti zatvaranja raskrsnice R3 ne zadržavaju samo na neposrednoj lokaciji izvođenja radova, već utiču na funkcionisanje šire saobraćajne mreže. Istovremeno, analiza pokazuje da adaptivni sistem upravljanja saobraćajem omogućava pravovremenu reakciju na promene saobraćajnih tokova i doprinosi efikasnijem korišćenju raspoloživog kapaciteta raskrsnice R1 u uslovima poremećaja izazvanih zonom radova.

LITERATURA

- [1] Webster, F. V. (1958). Traffic signal settings. Road Research Technical Paper No. 39.
- [2] Čelar, Nikola, Stanković, Stamenka, Kajalić, Jelena. 2020. Osnove upravljanja svetlosnim signalima. Beograd: Saobraćajni fakultet.
- [3] Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopoulou, V. (2003). Review of road traffic control strategies. Proceedings of the IEEE, 91 (12), 2043-2067.
- [4] FHWA (2004). Work Zone Safety and Mobility Rule. Federal Highway Administration.
- [5] Eom, M., & Kim, B.-I. (2020). The traffic signal control problem for intersections: A review. European Transport Research Review, 12(1), 62.
- [6] Gao, K., Huang, S., Xie, J., Xiong, N. N., & Du, R. (2020). A review of research on intersection

control based on connected vehicles and data-driven intelligent approaches. *Electronics*, 9(6), 885.

- [7] Qadri, S. S. S. M., Gökçe, M. A., & Öner, E. (2020). State-of-art review of traffic signal control methods: Challenges and opportunities. *European Transport Research Review*, 12(1), 55.
- [8] Høye, A., Bjørnskau, T., & Hesjevoll, I. S. (2024). Efficiency of dynamic traffic signal control in work zones with shuttle traffic. *European Transport Research Review*, 16

SUMMARY

Optimization of signalized intersections in the wider area surrounding a work zone

Abstract: Traffic management at signalized intersections in the wider area surrounding a work zone represents a significant challenge due to changes in traffic conditions. The presence of roadworks, particularly the complete closure of a road segment, leads to a redistribution of traffic flows within the network. This is reflected in changes to typical vehicle routes and increased traffic demand in the broader area around the work zone. Modern approaches to traffic management at intersections enable the adjustment of signal plans in accordance with varying traffic conditions. Timely identification of changes in traffic demand and their consideration in the decision-making process play a crucial role in improving overall system performance.

Key words: traffic management, work zones, signal control plans, traffic flow

Upravljanje radom izobovane signalisane raskrsnice primenom metoda veštačke inteligencije

Nikola Barać, ELCOM BGD doo, Beograd, nikola.barac@elcombgd.rs

Dragomir Leković, ELCOM BGD doo, Beograd, dragomir.lekovic@elcombgd.rs

Stefan Mladenović, ELCOM BGD doo, Beograd, stefan.mladenovic@elcombgd.rs

Aleksandar Jovanović, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka,
Kragujevac, a.jovanovic@kg.ac.rs

Rezime: Porast broja stanovnika i stepena motorizacije u gradovima doveo je do saobraćajnih zagušenja, povećanja vremena putovanja, većeg broja zaustavljanja vozila, ali i do nepovoljnijih uticaja saobraćaja na životnu sredinu. Jedan od načina da se ovi problemi ublaže jeste bolje upravljanje radom svetlosnih signala. Klasični signalni planovi često ne mogu dovoljno dobro da odgovore na neravnomernosti u saobraćajnim zahtevima. Zbog toga se poslednjih godina sve više pažnje posvećuje metodama zasnovanim na veštačkoj inteligenciji, koje mogu da koriste podatke iz saobraćajnog sistema i da na osnovu njih prilagođavaju rad signala. U ovom radu razmatra se primena fazi logike tipa 1 i Proximal Policy Optimization (PPO) algoritma sa transformer arhitekturom neuronske mreže. Njihova efikasnost ocenjena je poređenjem pokazatelja rada raskrsnice, pre svega vremenskih gubitaka i ukupnog protoka vozila na raskrsnici, kao i upoređivanjem normiranog zauzeća detektora na raskrsnici. Istraživanje se zasniva na modelu realne raskrsnice, formiranom i kalibrisanom u simulacionom alatu SUMO. Za izradu i proveru modela korišćeni su podaci prikupljeni na terenu, uključujući i podatke sa detektora. Predloženi algoritmi upravljanja implementirani su u programskom jeziku Python, uz korišćenje TraCI modula, kojim se omogućava razmena podataka između simulacionog modela i eksternog upravljačkog koda. Rezultati metoda zasnovanih na veštačkoj inteligenciji upoređeni su sa rezultatima postojećeg signalnog plana na terenu, optimizovanog fiksnog režima rada i klasičnog upravljanja zasnovanog na detektorima. Rezultati pokazuju da testirane metode veštačke inteligencije ostvaruju oko 6% - 12% veću efikasnost zavisno od scenarija saobraćajnog zahteva. Algoritam PPO sa transformer arhitekturom neuronske mreže pokazao je značajan potencijal u pogledu automatizacije procesa kreiranja načina upravljanja na signalisanim raskrsnicama.

Ključne reči: izolovana signalisana raskrsnica, veštačka inteligencija, optimizacija svetlosnih signala, simulacija

1 UVOD

Ubrzani razvoj i širenje gradova doveli su do porasta broja stanovnika i stepena motorizacije u urbanim sredinama. Ovakav trend rasta stvara značajne probleme na saobraćajnim mrežama gradova. Saobraćajna zagušenja, povećanje vremena putovanja i povećane emisije štetnih gasova najizraženije su na raskrsnicama. U cilju rešavanja navedenih problema, pristupa se upravljanju svetlosnim signalima na raskrsnicama.

Osnovni način upravljanja svetlosnim signalima predstavlja fiksni režim rada, koji podrazumeva fiksnu raspodelu zelenog vremena po tokovima, nezavisno od saobraćajnog zahteva u datom trenutku. Ovakav način upravljanja optimizuje se na osnovu istorijskih vrednosti protoka na raskrsnici, međutim nailazak vozila je po prirodi slučajan događaj zbog čega optimizovani fiksni signalni planovi ne uspevaju u potpunosti da odgovore na stohastički saobraćajni zahtev na raskrsnicama.

Razvoj tehnike doprineo je sve većoj primeni detektorskih uređaja, koji omogućavaju pristup informacijama o saobraćajnom toku na raskrsnicama u realnom vremenu. Poznavanje vrednosti parametara saobraćajnog toka u svakom trenutku otvorilo je mogućnost upravljanja raskrsnicama u realnom vremenu. U tu svrhu razvijen je veliki broj algoritama, sa namerom da upravljanje saobraćajem prilagode saobraćajnom zahtevu u cilju maksimiziranja efikasnosti raskrsnice.

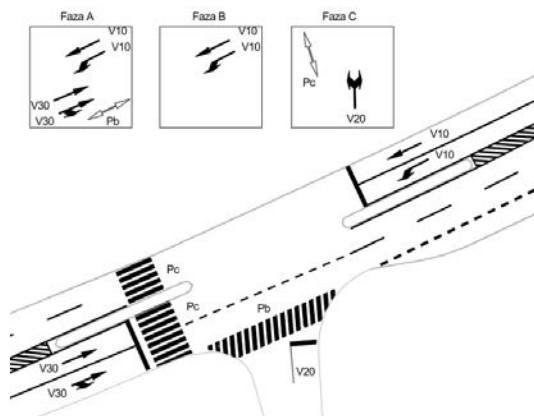
U stručnoj literaturi postoji značajan broj radova na temu upravljanja saobraćajem korišćenjem metoda veštačke inteligencije [1, 2, 3, 4]. Pokazano je da se njihovom primenom može ostvariti veća efikasnost raskrsnice u odnosu na fiksni način upravljanja i klasično upravljanje zasnovano na detektorima.

Cilj ovog rada bio je da se ispita efikasnost odabranih metoda veštačke inteligencije u upravljanju saobraćajem i mogućnost njihove primene na realnoj signalisanoj raskrsnici. Akcenat rada jeste na praktičnoj primeni metoda, zbog čega su odabrani algoritmi kreirani tako da zadovolje ograničenja uređaja koji se implementiraju na terenu. Takođe, u tu svrhu korišćeni su detaljni podaci o karakteristikama raskrsnice, kao i realni podaci o saobraćajnom zahtevu.

2 OPIS PROBLEMA

Predmetna raskrsnica ima tri kraka i nalazi se u Kragujevcu (

Slika 1). Tokovi na raskrsnici se opslužuju u tri faze: u prvoj fazi opslužuju se vozačke signalne grupe V10 i V30 sa uslovno kompatibilnom pešačkom signalnom grupom Pb, nakon čega se samostalno opslužuje vozačka signalna grupa V10, dok se u trećoj fazi opslužuje vozačka signalna grupa V20 sa uslovno kompatibilnom pešačkom signalnom grupom Pc. U slučajevima upravljanja u realnom vremenu treća faza se može opsluživati bez pešačkih tokova u slučaju da ne postoji najavna detekcija pešaka preko glavnog pravca. U slučaju opsluge bez pešaka tokovi pravo V10 se opslužuju sa uslovnim signalom za pravo.



Slika 1: Geometrija raskrsnice u Kragujevcu

3 METODE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE

U radu su testirana dva algoritma upravljanja saobraćajem korišćenjem veštačke inteligencije: fazi logički algoritam i Proximal Policy Optimization algoritam sa transformer arhitekturom neuronske mreže. Pretpostavka je da oba algoritma koriste detekcije popunjenosti trake sa video detektora. Ulazi algoritama su vrednosti od 0 do 1 koje se dobijaju kao količnik trenutnog broja vozila u traci i maksimalnog broja vozila koji može biti detektovan u toj traci na prilazu raskrsnici.

3.1 Fazi logički algoritam

Fazi logika (eng. *Fuzzy logic*) je matematička teorija koja se bavi rezonovanjem korišćenjem nepreciznih informacija. U klasičnoj logici neki element ili pripada ili ne pripada nekom skupu (1 ili 0), dok se u fazi logici dozvoljavaju neprecizni opisi pripadnosti nekom skupu (vrednosti između 0 i 1). Ovakav pristup opisivanju promenljivih bliže odgovara načinu na koji ljudi percipiraju promenljive. Zbog toga se fazi logički sistemi koriste za donošenje odluka u oblastima gde ljudske percepcije imaju značajnu ulogu. Cilj fazi logičkih sistema je da u svakom trenutku imitira ljudski (ekspertski) način odlučivanja za potrebe automatizacije donošenja odluke.

Za potrebe upravljanja raskrsnicom u ovom radu je napravljen fazi logički sistem koji na osnovu popunjenosti traka na prilazima donosi odluku o produžavanju, odnosno prekidu određene faze u realnom vremenu. Ekspertskom procenom definisani su fazi skupovi koji opisuju šta predstavlja veoma mala, mala, srednja, velika i veoma velika popunjenost trake na prilazu. Tako bi, na primer, za neku vrednost popunjenosti trake, moglo da se kaže da pripada fazi skupovima mala i srednja sa određenim vrednostima stepena pripadnosti između 0 i 1. Takođe, kreirana su fazi pravila kojima se ugrađuje ekspertski način zaključivanja u fazi logički sistem. Fazi logički sistem sposoban je da u svakoj sekundi generiše vrednost urgentnosti da se u tom trenutku faza prekine. Ova vrednost nalazi se između 0 i 1, gde 0 predstavlja veoma malu urgentnost za promenom, a 1 veoma veliku urgentnost za promenom faze. Nakon što ekspert definiše kritičnu vrednost urgentnosti, fazi logički algoritam je sposoban da upravlja raskrsnicom u realnom vremenu.

3.2 Proximal Policy Optimization algoritam sa transformer arhitekturom neuronske mreže

Proximal Policy Optimization (PPO) algoritam spada u grupu algoritama za učenje podsticanjem (eng. *Reinforcement Learning*). Ideja iza ovih algoritama jeste da se kreira agent koji samostalno uči da donosi odluke u sistemu. Proces učenja je definisan tako da agent za dobre odluke dobija nagradu, dok za loše odluke dobija kaznu. Cilj je da agent nauči da donosi odluke tako da maksimizira nagradu, odnosno minimizuje kaznu koju dobija. Nagrada, odnosno kazna, koju agent dobija definiše se u skladu sa ciljevima specifičnog zadatka koji bi trebalo da nauči da obavlja. Za potrebe upravljanja saobraćajem u ovom radu agent je naučen da donosi odluke o produženju, odnosno prekidanju faze u realnom vremenu.

Specifično PPO algoritam zasniva se na Izvršilac-Kritičar (eng. *Actor-Critic*) konceptu, gde je uloga Izvršioca da donosi odluke, dok je uloga Kritičara da evaluiira te odluke i usmeri Izvršioca ka većoj nagradi. Izvršilac i Kritičar su neuronske mreže čiji se parametri optimizuju u cilju nalaženja strategije odlučivanja koja donosi najveću nagradu. Ove dve mreže spojene su sa detekcijama popunjenosti trake preko posebne neuronske mreže sa transformer arhitekturom. Cela arhitektura se trenira u celosti tako da maksimizuje nagradu koja je u skladu sa ciljevima upravljanja saobraćajem. Agent je nagrađivan proporcionalno broju vozila koje uspe da propusti kroz raskrsnicu, dok je s druge strane kažnjavao za stvaranje vremenskih gubitaka i produžavanje zelenog vremena ukoliko ne postoji zahtev za opslugom. Potrebno je naglasiti da je za učenje približno optimalne strategije upravljanja neophodno obimno treniranje u različitim scenarijima saobraćajnog zahteva. Nakon završenog treniranja agent je sposoban da donosi odluke o produženju, odnosno prekidu faze na osnovnu detekcija popunjenosti traka u realnom vremenu.

4 REZULTATI

Testiranje metoda veštačke inteligencije za upravljanje saobraćajem izvršeno je u simulacionom softveru SUMO. Evaluacija rezultata urađena je za saobraćajni zahtev u 4 karakteristična sata u toku radnog dana. Pored njih testirani su postojeći fiksni signalni program (Fix), fiksni program optimizovan u softveru LISA na osnovu saobraćajnog opterećenja sa detektora (Fix LISA) i klasičan algoritam baziran na merenju intervala sleđenja vozila (Algoritam). Postojeći program ima ciklus od 90 s sa zelenim vremenima 45 s, 7 s i 21 s po fazama (Pc 14 s), a optimizovani program ciklus od 70 s sa zelenim vremenima 22 s, 17 s i 16 s (Pc 7 s) i skraćenim zaštitnim vremenima, pri čemu V10 dobija zeleno 2 s pre V30. Klasičan algoritam radi sa minimalnim zelenim vremenima od 5–10 s i maksimalnim od 90 s: nakon isteka minimalnog zelenog faza se produžava po 1 s dok je interval sleđenja na udaljenoj petlji aktivnog pravca do 3 s (prva faza i dok nema zahteva sa V10 levo, V20 i pešaka), a treća faza se opslužuje sa ili bez Pc u zavisnosti od najavne detekcije pešaka. Za svaki scenario saobraćajnog zahteva i svaki način upravljanja rezultati efikasnosti dobijeni su kao aritmetička sredina 10 simulacija sa različitom inicijalnom vrednošću za generisanje pseudoslučajnih brojeva. Metode veštačke inteligencije rade pod istim signalnim planom kao i algoritam.

Za potrebe evaluacije pet načina upravljanja korišćeni su prosečni vremenski gubici vozila, ukupan časovni protok vozila na raskrsnici i normirano zauzeće induktivnih petlji. Poslednji parametar efikasnosti definiše se na sledeći način:

$$Occ_{norm} = \frac{\sum_{i=1}^n Occ_i * q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} \quad (1)$$

gde su:

Occ_{norm} – normirano zauzeće,

Occ_i – zauzeće detektora i ,

q_i – časovni protok na detektoru i .

Iako se radi o prekinutim saobraćajnim tokovima, normirano zauzeće je izabrano kao parametar efikasnosti jer za razliku od vremenskih gubitaka može biti utvrđeno na terenu. Na taj način moguće je pratiti ovaj parametar efikasnosti i nakon implementacije određenih načina upravljanja na terenu.

Rezultati pokazuju da su optimizacijom fiksnog signalnog programa postignuti manji prosečni vremenski gubici u odnosu na postojeće fiksne signalne programe u sva četiri scenarija. Takođe, primenom klasičnog algoritamskog rada ostvareni su manji prosečni vremenski gubici u odnosu na optimizovani fiksni signalni program u sva četiri scenarija. Implementacijom fazi logičkog algoritma ostvareni su manji prosečni vremenski gubici u odnosu na klasičan algoritamski rad. Takođe, pokazalo se da PPO transformer algoritam ostvaruje manje ili jednake prosečne vremenske gubitke u odnosu na fazi logički algoritam u tri od četiri scenarija. U satu 03-04 ovaj algoritam beleži veće vremenske gubitke od optimizovanog fiksnog signalnog programa, klasičnog algoritma i fazi logičkog algoritma, ali je u ovom scenariju zabeležio najmanje normirano zauzeće detektora.

Rezultati su takođe pokazali da postoji povezanost između prosečnih vremenskih gubitaka i normiranog zauzeća detektora, međutim ne može se uspostaviti direktna zavisnost ova dva parametra u opštem slučaju.

Tabela 2: Rezultati testiranja po scenarijima na raskrsnici u Kragujevcu

Čas	Mere efikasnosti	Fix	Fix LISA	Algoritam	Fuzzy	PPO Transformer
03-04	Prosečni vremenski gubici (s/voz)	17,4	11,0	7,7	7,2	12,4
	Ukupan protok (voz/h)	154	153	154	154	153
	Normirano zauzeće (%)	3,0	3,0	0,9	1,0	0,8
07-08	Prosečni vremenski gubici (s/voz)	28,6	23,1	20,1	18,6	17,7
	Ukupan protok (voz/h)	2049	2067	2076	2077	2079
	Normirano zauzeće (%)	28,0	31,9	24,8	22,1	21,5
16-17	Prosečni vremenski gubici (s/voz)	43,6	27,1	21,2	19,8	19,8
	Ukupan protok (voz/h)	2538	2594	2605	2608	2605
	Normirano zauzeće (%)	36,4	36,5	29,9	27,6	27,6
21-22	Prosečni vremenski gubici (s/voz)	28,0	21,6	17,9	16,7	16,4
	Ukupan protok (voz/h)	1681	1678	1672	1674	1671
	Normirano zauzeće (%)	28,3	27,3	21,2	19,9	20,3

5 ZAKLJUČAK

U radu su testirane dve metode veštačke inteligencije upravljanja saobraćajem na raskrsnici. Dobijeni rezultati pokazali su da se primenom ovih metoda prosečni vremenski gubici mogu smanjiti u rasponu od 6% do 12% u odnosu na klasičan algoritamski rad.

Poseban značaj rada zasniva se na činjenici da za razliku od ostalih načina upravljanja kreiranje PPO transformer algoritma ne zahteva aktivnu uključenost inženjera u proces optimizacije procesa upravljanja saobraćajem. Dovoljno je automatizovati proces treniranja dok agent ne nauči optimalnu strategiju upravljanja na konkretnoj raskrsnici. Mana ovakvog pristupa ogleda se u tome što se treniranje agenta vrši unutar simulacije. Ukoliko model raskrsnice nije dovoljno dobro kalibrisan u odnosu na realno stanje na terenu, može doći do značajnih odstupanja u pogledu efikasnosti.

U budućnosti bi trebalo posvetiti pažnju istraživanju metoda kalibrisanja agenta na samoj raskrsnici, kao i mogućnosti treniranja agenta korišćenjem standardnih induktivnih petlji. Takođe, trebalo bi ispitati mogućnost primene metoda u slučaju da se faze ne smenjuju ciklično, već je dozvoljeno preskakanje faza, kao i u slučaju upravljanja saobraćajem na nivou zone.

LITERATURA

- [1] Jovanović, A., Kukić, K., Stevanović, A., Teodorović, D. (2022), Restricted crossing U-turn traffic control by interval Type-2 fuzzy logic, *Expert Systems with Applications*, 211, 118613.
- [2] Zhao, R., Hu, H., Li, Y., Fan, Y., Gao, F., Gao, Z. (2024), Sequence Decision Transformer for Adaptive Traffic Signal Control, *Sensors*, 24(19), 6202.
- [3] Huang, X., Wu, D., Boulet, B. (2026), Traffic Signal Control Using Lightweight Transformers: An Offline-to-Online RL Approach, *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 7, 396-411.
- [4] Jovanović, A., Stevanović, A., Kukić, K., Teodorović, D. (2026), Median U-Turn intersection traffic control in field-like traffic signal controllers: fuzzy logic Type 2 approach, *Engineering Computations*, 43(3), 1256-1280.

SUMMARY

Traffic Control of an Isolated Signalized Intersection Using Artificial Intelligence Methods

Abstract: The increase in the population and motorization rate in cities has led to traffic congestion, longer travel times, a greater number of vehicle stops, as well as more adverse effects of traffic on the environment. One way to alleviate these problems is through better traffic signal control. Traditional signal plans often cannot adequately respond to the fluctuations in traffic demand. As a result, in recent years, increasing attention has been focused on methods based on artificial intelligence, which can utilize data from the traffic system and adjust signal operations accordingly. This paper examines the application of Type 1 fuzzy logic and the Proximal Policy Optimization (PPO) algorithm with a transformer neural network architecture. Their efficiency was assessed by comparing the performance indicators of the intersection, primarily the time losses and the total volume at the intersection, as well as by comparing the normalized occupancy of the detectors at the intersection. The research is based on a model of a real intersection, developed and calibrated in the simulation tool SUMO. The model was created and verified using real-world data gathered from field detectors. The proposed control algorithms were implemented in the Python programming language, using the TraCI module, which enables data exchange between the simulation model and the external control code. The results of the methods based on artificial intelligence were compared with the results of the existing signal plan in the field, the optimized fixed operation mode, and the classical detector-based control. The results show that the tested artificial intelligence methods achieve about 6% - 12% greater efficiency depending on the traffic demand scenario. The PPO algorithm with a transformer architecture of neural networks has shown significant potential in terms of automating the process of creating control strategies at signalized intersections.

Key words: isolated signalized intersection, artificial intelligence, optimization of traffic signals, simulation

Adaptibilno upravljanje svetlosnom signalizacijom: primer primene sistema FUSION u regiji Tees Valley

Petar Bogdanović, Yunex Traffic, Beograd, petar.bogdanovic@yunextraffic.com

*Aleksandra Obradović, Yunex Traffic, Beograd,
aleksandra.obradovic.ext@yunextraffic.com*

Katarina Tadić, Yunex Traffic, Beograd, katarina.tadic@yunextraffic.com

Vukašin Terzić, Yunex Traffic, Beograd, vukasin.terzic.ext@yunextraffic.com

Rezime: Upravljanje saobraćajem u urbanim sredinama zahteva primenu sistema koji mogu da usklade rad svetlosne signalizacije sa promenljivim saobraćajnim zahtevima. Tradicionalni pristupi, zasnovani na fiksnim signalnim planovima, lokalnom upravljanju pojedinačnim raskrsnicama ili koordinaciji ograničenih koridora, ne pružaju uvek dovoljan nivo prilagodljivosti u uslovima promenljive potražnje. U radu je prikazan sistem FUSION kompanije Yunex Traffic, razvijen kao rešenje nove generacije za adaptibilno i koordinisano upravljanje svetlosnom signalizacijom na nivou mreže. Sistem koristi postojeću detekcionu infrastrukturu, podatke o stanju saobraćaja u realnom vremenu i algoritme za istovremenu optimizaciju više raskrsnica, bez potrebe za potpunom zamenom postojeće svetlosne semaforске opreme. Poseban osvrt dat je primeni u regiji Tees Valley u Velikoj Britaniji, gde je FUSION uveden na 196 semaforizovanih raskrsnica u okviru 57 koordinisanih područja. Rezultati praćenja i evaluacije ukazuju na smanjenje prosečnog vremenskog gubitka po vozilu u odnosu na prethodni način upravljanja, veću pouzdanost vremena putovanja i naročito izražene koristi na opterećenim, koordinisanim koridorima.

Ključne reči: adaptibilno upravljanje, svetlosna saobraćajna signalizacija, FUSION, mrežna optimizacija, vreme putovanja

1 UVOD

Savremene urbane sredine suočavaju se sa rastom mobilnosti i sve većim zahtevima za prevozom ljudi i robe. Istovremeno, mogućnosti proširenja putne infrastrukture često su ograničene prostorom, troškovima i zahtevima održivog razvoja. Zbog toga unapređenje načina korišćenja postojećih infrastrukturnih kapaciteta predstavlja jedan od ključnih zadataka savremenog upravljanja saobraćajem.

Jedan od najvažnijih elemenata upravljanja urbanom saobraćajnom mrežom jeste upravljanje svetlosnom signalizacijom. Način na koji su signalni programi projektovani i prilagođeni stvarnim uslovima direktno utiče na vreme putovanja, dužinu redova na raskrsnicama, broj zaustavljanja, pouzdanost putovanja i ukupnu efikasnost mreže. Klasični sistemi se u velikoj meri oslanjaju na unapred definisane signalne planove, dok sistemi sa detekcijom omogućavaju lokalno reagovanje na trenutnu potražnju, odnosno trenutne saobraćajne zahteve. Razvoj detekcionih i komunikacionih tehnologija, kao i dostupnost podataka u realnom vremenu, omogućili su prelazak ka sistemima koji koordinisano optimizuju rad većeg broja raskrsnica. Rešenja kao što su Vehicle Actuated

(VA) – detektorski rad, MOVA i SCOOT predstavljaju važne faze tog razvoja [4,5], dok sistemi novije generacije, među kojima je FUSION, proširuju optimizaciju na šire delove mreže [1,2,3].

Cilj ovog rada jeste da prikaže razvoj i osnovne principe adaptibilnog upravljanja svetlosnom signalizacijom, sa posebnim osvrtom na sistem FUSION i njegovu primenu u regiji Tees Valley u Velikoj Britaniji. Kroz analizu načina funkcionisanja sistema i rezultata postignutih tokom implementacije, nastoji se da se ukaže na mogućnosti koje savremeni inteligentni transportni sistemi pružaju u unapređenju upravljanja urbanim saobraćajem i povećanju efikasnosti transportnih mreža.

2 RAZVOJ I SAVREMENI PRISTUPI UPRAVLJANJU SVETLOSOM SIGNALIZACIJOM

2.1 *Razvoj sistema upravljanja svetlosnom signalizacijom*

Upravljanje svetlosnom signalizacijom predstavlja jedan od osnovnih instrumenata za regulisanje saobraćajnih tokova u urbanim sredinama. Njegov cilj je da, uz očuvanje bezbednosti svih učesnika, raspoloživo vreme i kapacitet raskrsnice raspodeli u skladu sa saobraćajnim zahtevima. Razvoj sistema upravljanja tekao je od vremenski zavisnih programa ka rešenjima koja koriste detekciju i obradu podataka u realnom vremenu [4].

Prvi sistemi upravljanja zasnivali su se na unapred definisanim signalnim planovima koji su se aktivirali prema dobu dana. Takav pristup je jednostavan i predvidiv, ali ne uzima neposredno u obzir trenutne promene saobraćajnog opterećenja. Zbog toga fiksni planovi teže reaguju na neočekivane poremećaje, zagušenja i promene u raspodeli tokova tokom dana.

Razvojem detekcione opreme uvedeni su sistemi koji mogu da reaguju na trenutno stanje saobraćaja. Podaci sa detektora, ugrađenih u kolovoz ili postavljenih iznad saobraćajnice, omogućili su prilagođavanje trajanja pojedinih signalnih stanja stvarnoj potražnji i smanjenje nepotrebnih zadržavanja na raskrsnicama [5]. Time je napravljen prelaz sa isključivo vremenski zavisnog ka saobraćajno zavisnom upravljanju.

Dalji razvoj senzorske tehnologije, komunikacionih sistema i obrade podataka omogućio je da se optimizacija više ne posmatra samo na nivou jedne raskrsnice. Savremeni pristupi sve više povezuju veći broj semaforizovanih raskrsnica i koridora, kako bi se odluke donosile na osnovu šire slike stanja na mreži. Takav pristup stvara uslove za bolju koordinaciju, pouzdanija vremena putovanja i efikasnije reagovanje na promene potražnje [1,2,3].

2.2 *Adaptibilni sistemi upravljanja svetlosnom signalizacijom*

Adaptibilni sistemi upravljanja automatski prilagođavaju parametre rada svetlosne signalizacije promenama saobraćajnih uslova. Za razliku od fiksnih planova, oni koriste podatke sa detektora i drugih raspoloživih izvora kako bi izbor i trajanje signalnih stanja uskladili sa trenutnim potrebama saobraćajne mreže. Razlike između pojedinih sistema ogledaju se, između ostalog, u prostornom nivou na kojem se optimizacija sprovodi - od jedne raskrsnice do koordinisanih regiona i širih delova mreže.

Vehicle Actuated (VA) – detektorski rad predstavlja osnovni oblik saobraćajno zavisnog upravljanja. Na osnovu podataka sa lokalnih detektora sistem registruje

prisustvo ili odsustvo zahteva i, u okviru definisanih ograničenja, produžava ili završava pojedina signalna stanja. Prednost ovog pristupa je relativna jednostavnost, dok je osnovno ograničenje to što se odluke donose prvenstveno na nivou pojedinačne raskrsnice, bez sagledavanja stanja na okolnoj mreži [1].

MOVA (Microprocessor Optimised Vehicle Actuation) predstavlja napredniji pristup optimizaciji rada pojedinačne raskrsnice. Sistem koristi detektovanu saobraćajnu potražnju za optimizaciju signalnih vremena, sa ciljem smanjenja vremenskih gubitaka i efikasnijeg korišćenja kapaciteta. MOVA je široko primenjivan u Velikoj Britaniji i naročito je pogodan za izolovane raskrsnice ili lokacije na kojima mrežna koordinacija nije primarni zahtev [1,5].

SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique) omogućava koordinisano adaptibilno upravljanje većim brojem raskrsnica unutar definisanog koridora ili oblasti. Sistem kontinuirano prati saobraćajne uslove i prilagođava ključne parametre upravljanja, uključujući raspodelu zelenog vremena, dužinu ciklusa i vremenske odnose između susednih raskrsnica. Na taj način poboljšava progresiju duž koridora i omogućava koordinisan odgovor na promene potražnje [1,4].

FUSION nadograđuje ove pristupe primenom koordinisane optimizacije na nivou grupa raskrsnica, koridora i širih delova mreže. Sistem integriše podatke u realnom vremenu iz postojeće detekcije infrastrukture i drugih raspoloživih izvora, a zatim naprednim algoritmima istovremeno prilagođava strategije upravljanja na više lokacija. Time se omogućava efikasnije upravljanje saobraćajnim zahtevima, ranije reagovanje na nastanak zagušenja i pouzdaniji rad mreže u promenljivim uslovima [1,2,3].

Razvoj sistema upravljanja može se posmatrati kao postepeno širenje nivoa optimizacije: VA reaguje lokalno, MOVA optimizuje rad pojedinačne raskrsnice, SCOOT koordinisano upravlja koridorom ili oblašću, dok FUSION omogućava naprednu koordinisanu optimizaciju na nivou šire mreže ili regiona [1]. Ipak, to ne znači da je jedan metod univerzalno najbolji. Izbor odgovarajućeg načina upravljanja zavisi od karakteristika lokacije, nivoa potražnje, međusobnog uticaja raskrsnica i operativnih ciljeva [1].

3 SISTEM FUSION I PRIMENA U REGIJI TEES VALLEY

FUSION je sistem kompanije Yunex Traffic namenjen adaptibilnoj optimizaciji rada svetlosne signalizacije na nivou mreže. Funkcioniše u okviru postojeće infrastrukture, koristi podatke o saobraćaju u realnom vremenu i koordinisano prilagođava upravljačke strategije na više raskrsnica istovremeno. Za razliku od pristupa usmerenih pre svega na izolovanu raskrsnicu, FUSION sagledava međusobni uticaj više lokacija, prepoznaje promene potražnje i nastanak zagušenja i na osnovu toga usklađuje rad svetlosne signalizacije radi poboljšanja performansi mreže [1,2,3].

Regija Tees Valley, na severoistoku Engleske, obuhvata pet lokalnih samouprava i predstavlja jednu od najvećih komercijalnih implementacija sistema FUSION izvan Londona u trenutku objavljivanja projektnog izveštaja. Projekat je realizovan u okviru šireg „Digital Transport Programme“ programa sa ciljem unapređenja efikasnosti upravljanja regionalnom mrežom [1].

Implementacijom su obuhvaćeni:

- 196 semaforizovanih raskrsnica;

- 57 koordinisanih regiona;
- svetlosna signalizacija na teritoriji pet lokalnih samouprava regije Tees Valley;
- postojeće UTMC okruženje i raspoloživa detekciona infrastruktura [1].

Važna karakteristika projekta jeste integracija sa postojećom infrastrukturom, bez potrebe za njenom potpunom zamenom. FUSION je uveden fazno i uklopljen u postojeće postojeće UTMC (Urban Traffic Management and Control) okruženje za upravljanje i kontrolu urbanog saobraćaja i raspoloživa detekciona infrastruktura, uz saradnju regionalne uprave, lokalnih samouprava i operativnih timova. Takav pristup omogućio je da se konfiguracija i strategije optimizacije proveravaju i dorađuju tokom implementacije, uz očuvanje stabilnog rada aktivne saobraćajne mreže [1].

4 ANALIZA REZULTATA IMPLEMENTACIJE I ŠIRI KONTEKST PRIMENE

Efikasnost sistema FUSION analizirana je poređenjem performansi pre i nakon njegove implementacije, korišćenjem podataka o vremenu putovanja dobijenih metodom Floating Vehicle Data (FVD) – plutajuće vozilo. Jedan od osnovnih pokazatelja bio je prosečan vremenski gubitak po vozilu, definisan kao razlika između ostvarenog vremena putovanja i referentnog vremena putovanja u uslovima slobodnog toka. Na taj način vremenski gubitak obuhvata dodatno vreme putovanja nastalo usled zadržavanja na raskrsnicama, formiranja redova, zagušenja i drugih uticaja saobraćajnih uslova. Analiza je prvenstveno sprovedena tokom vršnih perioda radnih dana, kada su saobraćajni zahtevi najveći [1].

Rezultati pokazuju merljiva poboljšanja na većini analiziranih lokacija, pri čemu su najveći efekti ostvareni na opterećenim i koordinisanim koridorima. Na South Stockton Bypass koridoru, gde je poređenje izvršeno sa SCOOT sistemom, zabeležena su vršna smanjenja prosečnog vremenskog gubitka po vozilu veća od 50%. Poboljšanja su utvrđena i na lokacijama Thornaby Road/Parkway i Norton Road u odnosu na MOVA, naročito u periodima izraženije potražnje [1].

Istovremeno, evaluacija pokazuje da veličina koristi zavisi od karakteristika lokacije. Na izolovanoj raskrsnici Acklam Road/Ayresome Street efekat je bio neutralan do umeren, jer je postojeći način upravljanja već radio efikasno. Nasuprot tome, najveći efekti zabeleženi su tamo gde je bilo moguće koordinisano optimizovati više raskrsnica i upravljati širenjem redova duž koridora. Agregirana analiza pokazala je i značajne godišnje uštede vremena putovanja; u posmatranim regionima procenjene uštede kretale su se od približno 255 do 2.780 sati godišnje [1].

Ovi rezultati ukazuju da FUSION ne treba posmatrati kao univerzalnu zamenu za postojeće metode upravljanja, već kao deo fleksibilnog skupa alata koji uključuje VA, MOVA i druge odgovarajuće strategije. Dugoročne performanse zavise i od kvaliteta detektorskih podataka, pouzdanosti komunikacija, periodičnog pregleda konfiguracije i prilagođavanja promenama na mreži.

Rezultate ostvarene u regiji Tees Valley potrebno je posmatrati u širem kontekstu razvoja savremenih sistema za upravljanje saobraćajem, koji se sve više zasnivaju na integraciji podataka, adaptibilnom upravljanju i koordinaciji većeg broja raskrsnica. Primer primene takvog pristupa predstavlja i Beograd, gde projekat modernizacije svetlosne signalizacije obuhvata više od 300 semaforizovanih raskrsnica i formiranje adaptibilnih zona upravljanja. U okviru sistema Yuttraffic Motion, signalni planovi se prilagođavaju na

osnovu podataka o trenutnim saobraćajnim uslovima, dok je dodatno uvedena i prioritizacija tramvajskog saobraćaja primenom sistema Yuttraffic Stream. Na taj način adaptibilno upravljanje, pored optimizacije individualnog motornog saobraćaja, može da se koristi i za unapređenje pouzdanosti i atraktivnosti javnog prevoza [6].

Dalji razvoj ovakvih sistema usmeren je ka njihovom povezivanju sa sveobuhvatnim platformama za upravljanje saobraćajem. Yuttraffic Symphony predstavlja platformu koja objedinjuje funkcije nadzora i upravljanja svetlosnom signalizacijom, adaptibilnog upravljanja, prioritizacije određenih kategorija učesnika i drugih ITS funkcionalnosti. Na taj način pojedinačni sistemi i funkcije više se ne posmatraju kao izolovana rešenja, već kao deo jedinstvenog okruženja za upravljanje saobraćajem i mobilnošću [7].

Pored operativnog upravljanja mrežom, sve veći značaj ima i mogućnost analize njenog budućeg ponašanja. U tom kontekstu, Yuttraffic Studio predstavlja okruženje za naprednu analizu, modeliranje i simulaciju saobraćaja, u kojem se podaci o stanju mreže mogu koristiti za procenu budućih uslova i ispitivanje efekata različitih upravljačkih mera pre njihove primene u realnom sistemu [8]. Time se otvara mogućnost prelaska sa upravljanja koje se prilagođava trenutnom stanju ka proaktivnom i prediktivnom upravljanju, uz sve veću primenu napredne analitike i metoda veštačke inteligencije.

5 ZAKLJUČAK

Adaptibilno upravljanje svetlosnom signalizacijom predstavlja važan pravac razvoja inteligentnih transportnih sistema, posebno u urbanim sredinama u kojima povećanje potražnje nije moguće rešavati isključivo proširenjem putne infrastrukture. Korišćenjem podataka o stvarnom stanju saobraćaja i dinamičkim prilagođavanjem upravljačkih parametara moguće je efikasnije koristiti postojeće kapacitete i povećati pouzdanost funkcionisanja mreže.

FUSION predstavlja korak ka upravljanju na nivou šire mreže saobraćajnica, jer istovremeno razmatra uslove na više raskrsnica i koordinisano prilagođava njihove strategije rada. Posebna praktična vrednost sistema ogleda se u mogućnosti integracije sa postojećom svetlosnom semaforском infrastrukturom i postojeće UTMC (Urban Traffic Management and Control) okruženje za upravljanje i kontrolu urbanog saobraćaja i raspoloživa detekciona infrastruktura, čime se unapređenje upravljanja može ostvariti bez potpune zamene postojeće opreme [1,2]. Rezultati implementacije u regiji Tees Valley potvrđuju da ovakav pristup može ostvariti značajne koristi, naročito na opterećenim i koordinisanim koridorima. Sistem je uveden na 196 semaforizovanih raskrsnica u 57 koordinisanih regiona, a na pojedinim lokacijama ostvareno je smanjenje prosečnog vremenskog gubitka po vozilu veće od 50% u odnosu na prethodni način upravljanja. [1].

Zbog toga je za uspešnu primenu od ključnog značaja pravilno odabrati lokacije, obezbediti pouzdanu detekciju i komunikacije i kontinuirano pratiti performanse nakon puštanja sistema u rad. FUSION treba koristiti kao deo šireg skupa metoda upravljanja, uz izbor strategije koja najbolje odgovara konkretnim saobraćajnim uslovima. Dalji razvoj u Tees Valley-u usmeren je i ka povezivanju realnog upravljanja sa analitičkim i prediktivnim mogućnostima saobraćajnog digitalnog blizanca [1].

Dalji razvoj adaptibilnih sistema upravljanja očekivano će biti usmeren ka njihovom povezivanju sa integrisanim platformama za upravljanje saobraćajem, digitalnim blizancima, naprednom analitikom podataka i metodama veštačke inteligencije.

Povezivanje upravljanja u realnom vremenu sa simulacionim i prediktivnim modelima otvara mogućnost prelaska sa adaptibilnog, odnosno reagovanja na trenutno stanje, ka proaktivnom upravljanju u kojem se budući saobraćajni uslovi mogu proceniti, a efekti različitih upravljačkih strategija analizirati pre njihove primene. Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da mrežno, podacima vođeno upravljanje svetlosnom signalizacijom predstavlja efikasan način za bolje korišćenje postojeće infrastrukture i saobraćajne mreže. Primer Tees Valley-a istovremeno pokazuje da tehnološko rešenje daje najbolje rezultate kada je praćeno kvalitetnim podacima, odgovarajućim izborom lokacija, kontinuiranom optimizacijom i dobrom saradnjom između upravljača mreže i dobavljača sistema.

LITERATURA

- [1] Fryer, S. FUSION – Next Generation Adaptive Traffic Control: Tees Valley Project Report. Tees Valley Combined Authority, 2025.
- [2] Yunex Traffic. Yuttraffic FUSION Adaptive Traffic Control. Dostupno na: <https://www.yunextraffic.com/portfolio/urban/mobility-management/adaptive-traffic-control/>. [yunextraffic.com]
- [3] Hamilton, A., Snowdon, J. i dr. Adaptive Control for Today's Road Users: Real-Life Deployments, Real-Life Learnings. Yunex Traffic, 2023. [yunextraffic.com]
- [4] Hunt, P. B., Robertson, D. I., Bretherton, R. D., Winton, R. I. SCOOT: A Traffic Responsive Method of Coordinating Signals. TRRL, 1981.
- [5] Vincent, R. A., Peirce, J. R. MOVA: Traffic Responsive Self Optimising Signal Control for Isolated Intersections. TRRL Laboratory Report.
- [6] Yunex Traffic Serbia. Adaptive Traffic Control and Traffic Management in Belgrade. [yunextraffic.com]
- [7] Yunex Traffic. Yuttraffic Symphony Traffic Management Platform. [yunextraffic.com]
- [8] ITS International. Yuttraffic Studio: Revolutionising Traffic Management, 2024. [itsinternational.com]

SUMMARY

Adaptive Traffic Signal Control: A Case Study of the FUSION System Deployment in the Tees Valley Region

Abstract: Urban traffic management increasingly requires systems capable of adapting traffic signal operation to changing demand. Traditional fixed-time plans and locally responsive control do not always provide sufficient flexibility when conditions vary across a wider network. This paper presents Yunex Traffic's FUSION system, a next-generation solution for adaptive and coordinated traffic signal control at network level. FUSION uses existing detection infrastructure, real-time traffic data and optimisation algorithms to coordinate multiple junctions without requiring wholesale replacement of the existing signal equipment. Particular attention is given to the deployment in the Tees Valley, United Kingdom, where the system has been implemented across 196 signalised junctions in 57 coordinated site regions. Monitoring and Evaluation results indicate reductions in delay, improved journey time reliability and the greatest benefits on high-demand, coordinated corridors. The findings also show that performance depends on site characteristics and that FUSION is most effective when applied as part of a flexible traffic-control toolkit.

Key words: adaptive traffic control, traffic signals, FUSION, network optimisation, journey time.

Razvoj i implementacija softvera za detekciju vozila zasnovan na obradi video zapisa

Anđela Lazarević, ELCOM BGD DOO, andjela.lazarevic@elcombgd.rs

Dragomir Leković, ELCOM BGD DOO, dragomir.lekovic@elcombgd.rs

Stefan Mladenović, ELCOM BGD DOO, stefan.mladenovic@elcombgd.rs

Rezime: Video detektovanje vozila predstavlja savremenu metodu prikupljanja i analize saobraćajnih podataka zasnovanu na primeni video kamera i specijalizovanog softvera za obradu i interpretaciju video zapisa. Zahvaljujući kontinuiranom razvoju veštačke inteligencije i metoda mašinskog učenja, značajno su unapređene mogućnosti automatske obrade video sadržaja, čime je omogućeno dobijanje velikog broja relevantnih podataka o karakteristikama saobraćajnog toka. U odnosu na tradicionalne sisteme detekcije, video sistemi obezbeđuju veću fleksibilnost primene i istovremeno praćenje više parametara saobraćaja.

Primena video detekcije omogućava detekciju prisustva vozila u definisanim zonama interesa, klasifikaciju vozila prema različitim kategorijama, kao i procenu gustine saobraćaja i identifikaciju formiranja redova vozila. Pored toga, moguće je određivanje brzine kretanja vozila, praćenje njihovih trajektorija u vidnom polju kamere i analiza obrazaca kretanja. Analizom prethodno snimljenih video zapisa u offline režimu omogućeno je određivanje izvorno-ciljnih (IC) matrica, koje predstavljaju važan izvor podataka za potrebe planiranja, modeliranja i upravljanja saobraćajem. Video materijal može poticati iz različitih izvora, poput stacionarnih kamera, mobilnih uređaja ili dronova. Takođe, video detekcija nalazi primenu u sistemima sa promenljivom organizacijom saobraćaja, gde omogućava automatsko određivanje smera kretanja vozila i kontrolu funkcionisanja traka sa izmenjivim smerom kretanja. Zbog navedenih karakteristika, video detekcija predstavlja jednu od ključnih tehnologija savremenih inteligentnih transportnih sistema.

Cilj rada je predstavljanje softvera, razvijenog za potrebe automatske obrade video zapisa sa kamera. U radu će biti prikazana arhitektura sistema, princip rada i funkcionalnosti dostupne u režimu obrade video sadržaja u realnom vremenu (online režim) i naknadne analize prethodno snimljenog materijala (offline režim), sa posebnim osvrtom na mogućnosti primene dobijenih rezultata.

Ključne reči: video detekcija vozila, saobraćajni tok, softver za obradu video zapisa

1 UVOD

Obrada video zapisa predstavlja osnovu razvijenog softverskog sistema za automatsku detekciju i analizu saobraćaja. U zavisnosti od načina prikupljanja i dostupnosti video materijala, obrada se realizuje u realnom vremenu (online režim) ili kao naknadna obrada prethodno snimljenog materijala (offline režim). Iako se oba režima zasnivaju na istom osnovnom principu izdvajanju objekata od interesa iz pojedinačnih frejmova, određivanju

njihove pozicije i praćenju kretanja kroz vidno polje kamere, razlikuju se po nameni i vrsti podataka koje obezbeđuju.

Online režim je prvenstveno usmeren na operativno upravljanje saobraćajem: cilj mu je kontinuirano praćenje učesnika u saobraćaju i dobijanje osnovnih pokazatelja neposredno tokom realizacije saobraćaja. Offline režim, s druge strane, omogućava detaljniju analizu već prikupljenog materijala, uključujući i izdvajanje složenijih podataka, poput izvorno-ciljnih matrica, koji zahtevaju naknadnu obradu i drugačiji način snimanja. U radu su predstavljena oba razvijena sistema, sa osvrtom na funkcionalnosti, ograničenja i njihovu komplementarnu ulogu u saobraćajnom inženjerstvu.

2 OBRADA VIDEO ZAPISA

Oba sistema, online i offline, zasnivaju se na istom softverskom jezgru za detekciju, klasifikaciju i praćenje objekata u snimku. Njihova razlika ne proizlazi iz drugačijeg pristupa obradi slike, već iz trenutka u kojem se obrada vrši i hardverske platforme na kojoj se izvršava, što je detaljnije razmotreno u poglavlju 3.

2.1 Detekcija i klasifikacija vozila

Nezavisno od režima obrade, softver omogućava automatsku detekciju vozila unutar definisanih zona interesa, čime se utvrđuje da li je posmatrani deo saobraćajne površine trenutno zauzet. Za razliku od induktivnih petlji, koje daju informaciju o prolasku vozila kroz jednu fiksnu tačku, video detekcija omogućava posmatranje šireg područja i definisanje više zona unutar jednog video prikaza, bez potrebe za intervencijom na kolovozu [1].

Pored same detekcije, sistem omogućava i klasifikaciju vozila prema kategorijama, čime se dobija uvid u strukturu saobraćajnog toka. Na osnovu detekcije i klasifikacije mogu se odrediti osnovni pokazatelji poput broja vozila u posmatranom periodu i njihove strukture, nezavisno od toga da li se ova analiza vrši u trenutku snimanja (online) ili naknadno, nad sačuvanim materijalom (offline). Razlika između dva režima postaje značajna tek kada se ovim podacima doda vremenska dimenzija kretanja, odnosno praćenje objekata kroz uzastopne frejmove.



Slika 1. Detekcija sa automatskim određivanjem klase vozila

2.2 Detekcija pešaka

Pored vozila, sistem omogućava i detekciju pešaka, uključujući njihov broj, položaj i kretanje kroz definisane zone interesa. Pored pojedinačne detekcije, moguće je prepoznavanje grupa pešaka, kao i razlikovanje pojedinih kategorija učesnika, poput dece, čime se dobijaju podaci značajni sa aspekta bezbednosti i opsluživanja pešačkih tokova.



Slika 2. Detekcija pešačkih tokova

2.3 Praćenje objekata

Praćenje objekata predstavlja postupak povezivanja detekcija istog objekta kroz uzastopne frejmove, čime se izolovane, pojedinačne detekcije pretvaraju u kontinuiranu putanju kretanja. Na ovome se zasniva svaki dalji podatak koji zahteva vremensku dimenziju kao što su brzina, smer kretanja, vreme zadržavanja ili trajektorija.

Kod online sistema, domet je ograničen vidnim poljem jedne kamere postavljene na prilazu raskrsnice (radi pouzdanosti detekcije), što je dovoljno za brzinu, dužinu reda i vreme zadržavanja, ali ne i za određivanje manevra kroz raskrsnicu. Kod offline sistema, domet se proširuje prostorno, kroz kompozitno povezivanje više kamera, ili optički, kroz snimak iz ptičje perspektive koji obuhvata čitavu raskrsnicu jednim kadrom čime praćenje prerasta u punu trajektoriju i osnovu za IC matricu.

2.4 Online obrada

Zahvaljujući praćenju objekata u okviru dometa koji pokriva prilaz raskrsnice, online sistem u realnom vremenu dobija brzinu kretanja vozila, dužinu i vreme zadržavanja u redu čekanja - podatke koji predstavljaju direktan ulaz u projektovanje sistema adaptibilnog upravljanja saobraćajem. Pošto domet ne obuhvata centar raskrsnice, ovi pokazatelji ostaju ograničeni na pojedinačni prilaz, a manevar vozila kroz raskrsnicu online sistemom se ne može odrediti.

2.5 Offline obrada

Prošireni domet praćenja offline sistem ostvaruje na dva načina - snimanjem iz ptičje perspektive, najčešće dronom, ili kompozitnim snimkom sa više stacionarnih kamera. Izbor pristupa zavisi od uslova na lokaciji, raspoložive infrastrukture i dužine perioda koji

je potrebno analizirati; oba pristupa imaju svoje prednosti i ograničenja. Za razliku od online obrade, materijal se u oba slučaja može analizirati više puta i različitim parametrima, što dodatno povećava vrednost jednom prikupljenog snimka.

Prednost snimanja iz ptičje perspektive je što jedna kamera obuhvata celu raskrnicu, pa i širu mrežu, bez potrebe za povezivanjem podataka iz više izvora, a ugao snimanja omogućava jasno razlikovanje manevara vozila i precizno praćenje putanje [2]. Lokacija snimanja se lako prilagođava, jer nije vezana za postojeću infrastrukturu. Glavno ograničenje je vremenska autonomija leta, koja određuje trajanje neprekidnog snimanja i period za koji se IC matrica može dobiti u jednom prolazu, a takođe kvalitet snimka dodatno zavisi od vremenskih uslova. Zbog svega navedenog ovaj pristup nije pogodan za trajni, kontinuirani nadzor iste lokacije.



Slika 3. Snimak raskrsnice iz ptičje perspektive

Prednost kompozitnog snimka je mogućnost kontinuiranog, dugotrajnog snimanja bez ograničenja baterijom, uz korišćenje postojeće infrastrukture (stubovi, semafori). Time je posebno pogodan za trajni nadzor iste lokacije i ponovljenu analizu tokom dužeg perioda, kao i za urbane uslove u kojima snimanje dronom nije izvodljivo. Glavno ograničenje je što zahteva veći broj kamera, njihovo precizno pozicioniranje i kalibraciju, dok je povezivanje (re-identifikacija) vozila između kamera tehnički zahtevnije i podložnije greškama [3], posebno u "slepim zonama" između vidnih polja

3 UPOREDNI PREGLED ONLINE I OFFLINE REŽIMA OBRADE VIDEO ZAPISA

Razlika između online i offline režima ne proizlazi samo iz trenutka obrade, već i iz načina snimanja i pozicioniranja kamera, prilagođenih različitoj nameni svakog sistema. Kod online sistema, kamere su postavljene na prilazima raskrsnice radi postizanja veće pouzdanosti detekcije, što obezbeđuje brz odziv potreban za operativno upravljanje, ali onemogućava obuhvatanje centralnog dela raskrsnice i, samim tim, rekonstrukciju kompletne putanje vozila. Offline sistem, naprotiv, koristi snimak iz ptičje perspektive ili kompozitni snimak sa više kamera kako bi obezbedio potpuniju prostornu sliku raskrsnice, po cenu odloženog vremena obrade.

Ista razlika u nameni odražava se i na hardversku implementaciju. Online sistem, zahvaljujući manjoj računskoj zahtevnosti po kameri, može raditi na ugrađenoj (embedded) platformi do 8 kamera pri 10 FPS za samostalno, lokalizovano rešenje po raskrsnici, ili na serverskoj konfiguraciji sa grafičkom karticom, gde je moguća obrada i do 200 kamera istovremeno, za centralizovan nadzor većeg broja lokacija. Offline obrada, usled zahtevnijih operacija, pre svega povezivanja i praćenja vozila između više kamera i kroz duže periode, izvršava se isključivo na serverskoj konfiguraciji sa grafičkom karticom. Sličan dvoslojni pristup, sa odvojenim modulom za rad u realnom vremenu na uređajima ograničenih resursa i modulom za naprednu offline analizu na serverskoj infrastrukturi, opisan je i u [4].

Online režim je stoga pogodniji za operative primene — kontinuirani nadzor, detekciju prisustva i osnovne pokazatelje saobraćajnog toka u realnom vremenu, dok offline režim ima ključnu ulogu u planiranju i analizi saobraćajne potražnje, prevashodno kroz određivanje IC matrice i rekonstrukciju trajektorija. Ova dva režima ne treba posmatrati kao međusobno isključiva, već kao komplementarne mogućnosti istog sistema.

Tabela 1. Poređenje online i offline režima obrade video snimka

Pokazatelj	Online	Offline
<i>Detekcija i klasifikacija vozila</i>	<i>da</i>	<i>da</i>
<i>Brzina, red čekanja, incidenti na prilazu</i>	<i>da</i>	<i>ograničeno (zavisi od snimka)</i>
<i>IC matrica, pune trajektorije kroz raskrsnicu</i>	<i>ne</i>	<i>da</i>
<i>Trenutak dostupnosti podataka</i>	<i>odmah</i>	<i>naknadno</i>
<i>Mogućnost ponovljene analize istog snimka</i>	<i>ne</i>	<i>da</i>
<i>Hardverski zahtevi</i>	<i>embedded ili GPU server</i>	<i>isključivo GPU server</i>

4 ZAKLJUČAK

Primena sistema za automatsku obradu video zapisa značajno proširuje mogućnosti prikupljanja saobraćajnih podataka. Tradicionalni sistemi detekcije najčešće su namenjeni registrovanju prolaska vozila na unapred definisanoj tački ili merenju određenog broja parametara. Video sistemi, sa druge strane, omogućavaju prostorno i vremenski obuhvatniju analizu, pri čemu se iz istog video materijala može izdvojiti više različitih vrsta podataka.

Poseban značaj predstavlja mogućnost objedinjavanja podataka o detekciji, klasifikaciji i kretanju vozila. Takav skup podataka može imati primenu u različitim oblastima saobraćajnog inženjerstva. Podaci se mogu koristiti za određivanje saobraćajnog opterećenja, analizu strukture tokova, procenu korišćenja saobraćajnih traka, analizu pešačkih tokova, određivanje putanja vozila, formiranje izvorno-ciljnih matrica i pripremu podataka za saobraćajne modele.

U tom smislu, razvijeni softver predstavlja platformu koja povezuje proces prikupljanja video materijala sa procesom automatske ekstrakcije saobraćajnih podataka.

Njegova primena omogućava da se neobrađeni video zapis transformiše u strukturirane informacije koje se mogu dalje analizirati, vizuelizovati i koristiti u procesu saobraćajnog planiranja i upravljanja. Upravo mogućnost kombinovanja različitih načina snimanja, režima obrade i vrsta izlaznih podataka predstavlja osnovu za široku primenu video detekcije u savremenim inteligentnim transportnim sistemima.

LITERATURA

- [1] S. Sivaraman, M. M. Trivedi, "Looking at Vehicles on the Road: A Survey of Vision-Based Vehicle Detection, Tracking, and Behavior Analysis," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 14, no. 4, pp. 1773–1795, 2013.
- [2] G. Salvo, L. Caruso, A. Scordo, G. Guido, A. Vitale, "Traffic Data Acquirement by Unmanned Aerial Vehicle," *European Journal of Remote Sensing*, vol. 50, no. 1, pp. 343–351, 2017.
- [3] H.-M. Hsu, Y. Wang, J.-N. Hwang, "Traffic-Aware Multi-Camera Tracking of Vehicles Based on ReID and Camera Link Model," in *Proc. 28th ACM International Conference on Multimedia (MM '20)*, Seattle, WA, USA, 2020, pp. 964–972.
- [4] M. F. Şen, H. Gümüşkaya, Ş. Pazar, "Video Detector: A Dual-Phase Vision-Based System for Real-Time Traffic Intersection Control and Intelligent Transportation Analysis," *arXiv:2603.14861*, 2026.

SUMMARY

Development and implementation of video-based vehicle detection software

Abstract: Vehicle video detection represents a modern method of collecting and analyzing traffic data based on the use of video cameras and specialized software for the processing and interpretation of video recordings. Owing to the continuous development of artificial intelligence and machine learning methods, the capabilities for automated video content processing have been significantly enhanced, enabling the acquisition of a large amount of relevant data on traffic flow characteristics. Compared to traditional detection systems, video-based systems provide greater flexibility in application while simultaneously monitoring multiple traffic parameters.

The application of video detection enables the detection of vehicle presence within defined zones of interest, vehicle classification according to different categories, as well as the estimation of traffic density and identification of vehicle queue formation. In addition, it is possible to determine vehicle speeds, track their trajectories within the camera's field of view, and analyze movement patterns. The analysis of previously recorded video footage in offline mode enables the determination of origin-destination (OD) matrices, which represent an important source of data for traffic planning, modeling, and management purposes. Video material may originate from various sources, such as stationary cameras, mobile devices, or drones. Video detection is also applicable in systems with variable traffic organization, where it enables the automatic determination of vehicle movement directions and the control of lanes with reversible traffic flow. Due to these characteristics, video detection represents one of the key technologies of modern intelligent transportation systems.

The aim of this paper is to present software developed for the purpose of automated processing of video recordings from cameras. The paper presents the system architecture, operating principle, and functionalities available for real-time video content processing (online mode) and subsequent analysis of previously recorded material (offline mode), with particular emphasis on the potential applications of the obtained results.

Keywords: vehicle video detection, traffic flow, video processing software

Primena i analiza rada PTV Balance softverske instance u uslovima realnog saobraćajnog sistema

Smiljana Pavlović, ELCOM BGD DOO, Beograd, smiljana.pavlovic@elcombgd.rs

Margareta Ilić, ELCOM BGD DOO, Beograd, margareta.ilic@elcombgd.rs

Stamenka Stanković, Saobraćajni fakultet, Beograd, s.stankovic@sf.bg.ac.rs

Konstantan rast saobraćajnih zahteva nameće potrebu za efikasnijim, bezbednijim i ekološki prihvatljivijim načinima upravljanja saobraćajem. Uvođenjem svetlosnih signala i semaforizacijom raskrsnice obezbeđuje se maksimalan kapacitet i efikasno iskorišćenje raspoložive saobraćajne infrastrukture. Na najvišem hijerarhijskom nivou upravljanja saobraćajem primenjuje se adaptibilno upravljanje grupom raskrsnica u okviru definisane zone ili koridora, sa ciljem ostvarivanja koordinisanog rada pojedinačnih sistema upravljanja i poboljšanja performansi saobraćajne mreže u celini.

Jedan od softverskih paketa koji omogućava primenu adaptibilnog sistema na mreži je PTV Balance modul koji je namenjen upravljanju na makro nivou. U ovom radu biće prikazane mogućnosti Balance instanci implementiranih u realnim uslovima, odnosno na mreži saobraćajnica u Kotoru i Beogradu, sa posebnim osvrtom na uticaj kritičnih čvorova na preostale raskrsnice obuhvaćene Balance sistemom. PTV Balance je integrisan sa simulacionim softverima PTV Visum i PTV Vissim, stoga je izbor upravljačkih parametara zasnovan na rezultatima simulacionog modela i minimizaciji vrednosti PI indeksa kao funkcije kvaliteta saobraćajnog procesa. Simulacioni modeli izrađeni u PTV Vissim softveru omogućili su analizu i poređenje izvedenih i potencijalnih rešenja, kao i vrednovanje njihovih efekata u cilju odabira optimalnih rešenja. Cilj rada je da se kroz analizu ulaznih podataka, izlaznih pokazatelja efikasnosti i istorijskih podataka o radu semaforских kontrolera, prikaže princip funkcionisanja PTV Balance modula i utvrdi njegova sposobnost prilagođavanja upravljačkih parametara promenama saobraćajnih zahteva u realnom vremenu.

Ključne reči: adaptibilno upravljanje, PTV Balance, simulacija

1 UVOD

U savremenom urbanom okruženju, efikasno upravljanje saobraćajnim tokovima predstavlja jedan od ključnih preduslova za unapređenje mobilnosti i pouzdanosti transportnog sistema. Sa porastom stepena motorizacije i intenziteta saobraćaja, razvijena su različita rešenja za upravljanje, kako pojedinačnim raskrsnicama, tako i grupama raskrsnica u realnom vremenu. Najviši hijerarhijski nivo upravljanja podrazumeva koordinisan rad dve i više raskrsnica pozicioniranih u zoni ili koridoru. Cilj ovakvog načina upravljanja je da korišćenjem detektorskih resursa optimizuje parametre rada svetlosnih signala uključujući dužinu ciklusa, raspodelu zelenih vremena i pomak istih.

U cilju analize, simulacije i optimizacije različitih strategija upravljanja, primenjuju se brojni softverski alati za modeliranje saobraćajnih sistema. PTV Vision predstavlja integrisani softverski paket koji obuhvata PTV Visum za makroskopsko modeliranje i PTV

Vissim za mikro simulaciju saobraćajnih tokova. U oblasti adaptibilnog upravljanja, poseban značaj imaju PTV Epics i PTV Balance, koji omogućavaju optimizaciju rada svetlosne signalizacije.

Simulacija saobraćajnih tokova predstavlja polaznu osnovu za analizu i vrednovanje različitih strategija upravljanja, dok primena adaptibilnog sistema u realnim uslovima podrazumeva kontinuiranu razmenu podataka između detektorskih sistema, kontrolera i algoritma upravljanja, kao i prilagođavanje upravljačkih parametara promenljivim uslovima saobraćajnog toka. U ovom radu posebna pažnja je posvećena analizi sistema u kojima je primenjen PTV Balance modul, sa ciljem sagledavanja njegovog načina rada, uslova primene i uticaja na funkcionisanje koordinisanog sistema svetlosne signalizacije. Fokus rada usmeren je na pojedinačne raskrsnice u Kotoru i Beogradu, koje zajedno sa ostalim raskrsnicama pozicioniranim u okviru iste zone, čine deo jedinstvene PTV Balance instance. Prilikom analize posmatran je rad kontrolera tokom različitih nivoa saobraćajnog opterećenja, pri čemu su praćene promene realizovanih upravljačkih parametara i njihov uticaj na pokazatelje fikasnosti.

2 PTV BALANCE

PTV Balance (Balancing Adaptive Network Control Method) predstavlja softver za adaptibilno upravljanje integrisanim sistemom signalisanih raskrsnica na nivou zone ili koridora. Njegov rad zasniva se na prikupljanju i obradi podataka o aktuelnom saobraćajnom zahtevu putem detektorskih resursa. U zavisnosti od konfiguracije sistema, registruju se različite vrste zahteva učesnika u saobraćaju – motornih vozila, pešaka, biciklista i vozila javnog prevoza – čiji se podaci koriste kao ulaz za optimizaciju upravljačkih parametara. Posebnu mogućnost predstavlja primena logičkih, odnosno virtuelnih detektora, koji se fizički ne postavljaju na terenu, već se definišu u simulacionom modelu i dodeljuju odgovarajućim kontrolerima i signalnim grupama. Na taj način moguće je preneti informaciju o saobraćajnom zahtevu, odnosno vremenu putovanja vozila sa jedne raskrsnice ka narednoj, čime se obezbeđuje najavljivanje saobraćajnog toka bez dodatne fizičke detekcije na terenu. Za svaku signalnu grupu mogu se definisati težinski faktori, a za svaki detektor vreme putovanja do linije zaustavljanja, čime se uticaj pojedinih detektorskih informacija prilagođava strukturi i potrebama sistema.

Na osnovu aktuelnog saobraćajnog zahteva i podataka iz dinamičke baze PTV Visum, PTV Balance vrši procenu saobraćajnih tokova i petominutnim intervalima optimizuje parametre signalnih planova. Za različite kombinacije dužine ciklusa, pomaka zelenih vremena i njihove raspodele izračunava se Performance Index (PI), koji predstavlja meru kvaliteta upravljanja i čija se vrednost nastoji minimizirati. U formiranju PI indeksa uzimaju se u obzir vremenski gubici, dužine redova i broj zaustavljanja, uz primenu odgovarajućih težinskih faktora po signalnim grupama. Izabrano optimalno rešenje, odnosno kombinacija upravljačkih parametara sa minimalnom vrednošću PI indeksa, prosleđuje se sistemu za izvršenje, čime se omogućava kontinuirano prilagođavanje rada koordinisanog sistema promenama saobraćajnog zahteva.

U nastavku, na slici 1 prikazan je celokupan proces implementacije i monitoringa adaptibilnog sistema – od prikupljanja podataka, definisanja signalnih planova, formiranja modela i simulacija u PTV softverskim paketima, do integrisanja .sig fajla sa KSS semaforiskim uređajem putem EPICS modula, pokretanja Balance instance, monitoringa

koji je ostao nepromenjen tokom čitavog dana, u skladu sa velikim vrednostima saobraćajnog zahteva. Oko 22.00 časa, dogodila se promena signalnog programa, odnosno uređaj je radio u ciklusu od 75 sekundi. Ovakva progresija potvrđuje da PTV Balance dužinu ciklusa dinamički prilagođava intenzitetu saobraćajnog zahteva, birajući kraći ciklus u periodima manjih saobraćajnih opterećenja, a duži ciklus kada sa porastom saobraćajnih zahteva. U nastavku je prikazan izveštaj o radu kontrolera generisan u sistemu za automatsko upravljanje saobraćajem (SAUS 2.0).

ELCOM BGD

Izveštaj o radu kontrolera

Raskrsnica : R1_Kružna raskrsnica

Vremenski period : 2025-05-13 00:00:00 2025-05-14 00:00:00

Prva informacija u selektovanom vremenskom periodu (2025-05-13 00:00:00) :

Status uređaja : **NORMAL** / Aktivan program : P3 / Dužina ciklusa : 75s

Promena (2025-05-13 06:56:46) :

Status uređaja : **NORMAL** / Aktivan program : P2 / Dužina ciklusa : 90s

Promena (2025-05-13 07:07:45) :

Status uređaja : **NORMAL** / Aktivan program : P1 / Dužina ciklusa : 130s

Slika 2. Izveštaj iz kontrolera o promenama ciklusa (SAUS 2.0, ElcomBgd)

U tabeli 1 prikazane su vrednosti protoka po signalnim grupama na osnovu kojih je Balance menjao dužine ciklusa i vreme promene zabeleženo u kontroleru.

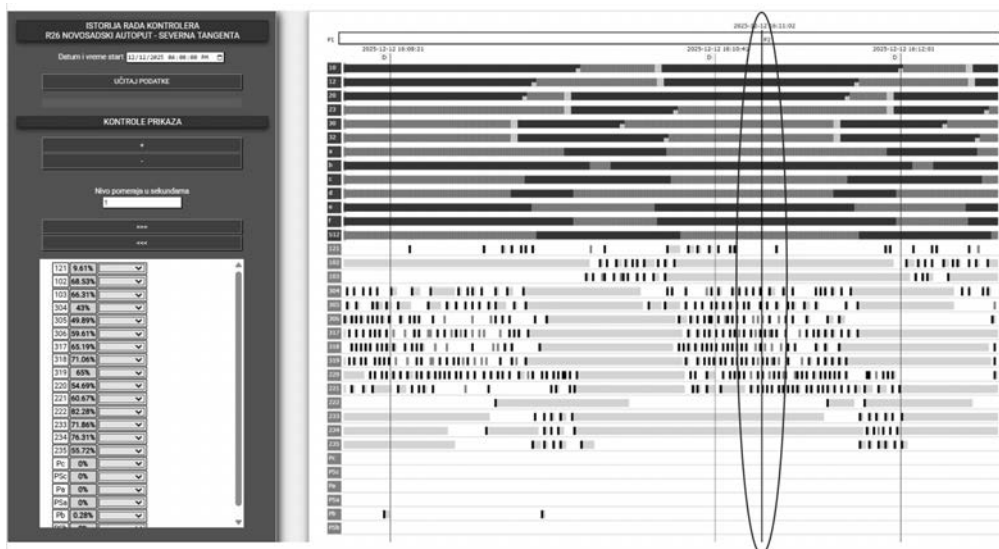
Tabela 1. Vrednosti protoka prema signalnim grupama i trenuci izmene ciklusa

Vreme (čas)	Protok V1 (voz/h)	Protok V2 (voz/h)	Protok V3 (voz/h)	Ciklus (s)	Promena
06.55	377	69	296	75	Pre promene
06.56	428	84	379	90	75 s -90 s
07.06	737	210	739	90	Pre promene
07.07	740	205	726	130	90 s – 130 s
21.57	343	88	327	130	Pre promene
21.59	320	114	335	75	130 s – 75 s

3.2 Primena sistema PTV Balance na Novosadskom putu, Beograd

PTV Balance instanca implementirana zoni „Novosadski put“ obuhvata 11 raskrsnica koje čine jednu koordinacionu grupu. U cilju detaljnijeg prikaza rada PTV Balance sistema, analiziran je rad sistema na raskrsnici Novosadski put – Severna tangenta. Na prilazu ka Pupinovom mostu formirane su dve saobraćajne trake za smer pravo (SG30) i dve saobraćajne trake za skretanje levo (SG32). Na suprotnom prilazu nalaze se dve saobraćajne trake za kretanje pravo (SG10) i jedna saobraćajna traka za kanalisano desno skretanje (SG12). Na prilazu sa Novosadskog puta definisane su dve signalne grupe – SG20 za saobraćajne tokove levo i SG23 za tokove desno.

Sposobnost PTV Balance modula da sagleda stanje na susednim raskrsnicama, a ne samo lokalnu potražnju posmatrane signalne grupe, ilustruje primer zabeležen na raskrsnici "Lakat krivina", neposredno pre Pupinovog mosta. Iako je signalna grupa u posmatranom trenutku beležila visok broj detektovanih vozila, Balance je doneo odluku da joj skрати zeleno vreme, prepoznajući istovremeno visoku zauzetost detektora na susednim prilazima. Poređenjem sa istim danom u nedelji (petak) i istim vremenskim periodom, utvrđeno je da je sistem u uobičajenim uslovima toj istoj signalnoj grupi dodeljivao znatno veći udeo zelenog vremena, što dodatno potvrđuje da je skraćivanje predstavljalo direktnu reakciju na zabeleženo stanje na susednim prilazima, a ne uobičajen obrazac rada. Ovakvo ponašanje proizilazi iz same prirode Balance algoritma — s obzirom da modul upravlja celom koordinacionom grupom raskrsnica kao jedinstvenim sistemom, prilikom optimizacije PI indeksa uzima u obzir podatke sa detektora čitave instance, a ne isključivo prilaza kojim se u datom trenutku upravlja.



Slika 3. Istorijски prikaz rada kontrolera na raskrsnici Novosadski put – Severna tangenta SAUS 2.0

4 ZAKLJUČAK

Adaptibilno upravljanje saobraćajem predstavlja značajan pristup unapređenju rada svetlosnih signala u uslovima promenljivog saobraćajnog opterećenja. Mogućnost prilagođavanja dužine ciklusa, trajanja zelenog vremena i rasporeda opsluge signalnih grupa omogućava fleksibilnije upravljanje i bolje usklađivanje rada svetlosnih signala signalnog sa aktuelnim saobraćajnim zahtevima. Prikazani primeri ukazuju na značaj sagledavanja lokalnih uslova prilikom primene ovih sistema. Karakteristike saobraćajne mreže, raspodela opterećenja i kvalitet prikupljenih podataka predstavljaju važne preduslove za odgovarajuće podešavanje i pouzdan rad adaptibilnog upravljanja. Njegova primena zahteva kontinuirano praćenje i vrednovanje rezultata, uz mogućnost daljeg prilagođavanja parametara sistema.

LITERATURA

- [1] Čelar N, Stanković S, Kajalić J 2018. Osnove upravljanja svetlosnim signalima. Beograd: Saobraćajni Fakultet.
- [2] Ilić M, 2023. Primena integracije PTV Epics, PTV Balance i SAUS 2.0 softvera u adaptibilnom upravljanju saobraćajem na koridoru

SUMMARY

Implementation and Operational Analysis of a PTV Balance Software Instance in a Real-World Traffic System

Abstract: The continuous growth in traffic demand calls for more efficient, safer, and environmentally sustainable traffic management. Traffic signal control enables the effective use of available road infrastructure and maximizes intersection capacity. At the highest hierarchical level, adaptive traffic control is applied to groups of intersections within a defined area or corridor to coordinate individual control systems and improve overall network performance.

PTV Balance is a software module designed to provide adaptive traffic control at the macroscopic level. This paper presents the capabilities of PTV Balance implementations operating in real-world conditions in the road networks of Kotor and Belgrade, with particular emphasis on the influence of critical nodes on other intersections within the controlled network. PTV Balance is integrated with PTV Visum and PTV Vissim, enabling the selection of control parameters based on simulation results and the minimization of a performance index (PI) representing traffic operational quality. Simulation models developed in PTV Vissim enabled the analysis and comparison of implemented and proposed solutions, as well as the assessment of their effects to identify optimal alternatives. Through the analysis of input data, performance indicators, and historical traffic signal controller records, this paper aims to explain the operating principles of PTV Balance and assess its ability to adjust control parameters to changes in traffic demand in real time.

Keywords: adaptive traffic control, PTV Balance, simulation

Primena velikih jezičkih modela u upravljanju signalisanom raskrsnicom

Jovan Grba, TTK Traffic, Beograd, jovan.grba@ttk.rs

Stamenka Stanković, Saobraćajni fakultet, Beograd, s.stankovic@sf.bg.ac.rs

Katarina Kukić, Saobraćajni fakultet, Beograd, k.kukic@sf.bg.ac.rs

Nikola Čelar, Saobraćajni fakultet, Beograd, n.celar@sf.bg.ac.rs

Ana Uzelac, Saobraćajni fakultet, Beograd, ana.uzelac@sf.bg.ac.rs

Rezime: U ovom radu razvijen je model upravljanja svetlosnim signalima u realnom vremenu, zasnovan na analizi parametara kritičnog broja vozila na prilazu raskrsnici (OC) u simulacionom okruženju PTV Vissim. Rad obuhvata dve faze istraživanja: prva, u kojoj se upravljanje vrši klasičnim VAP kontrolerom bez primene veštačke inteligencije. Druga faza, u kojoj se proces odlučivanja nadograđuje upotrebom velikih jezičkih modela (Large Language Model).

U osnovnom modelu, upravljanje signalnim grupama vrši se na osnovu unapred definisanih graničnih vrednosti za kritičan broj vozila na prilazima raskrsnici (OC). U proširenom modelu, veliki jezički model funkcioniše kao agent koji na svakih 600 sekundi analizira rezultate simulacije i određuje nove vrednosti OC parametara, sa ciljem optimizacije procesa pražnjenja reda na raskrsnici.

Kao rezultat analize porede se parametri efikasnosti rada svetlosnih signala, odnosno porede se vremenski gubici za svaki od primenjenih načina upravljanja. Poređenjem vremenskih gubitaka zaključilo se da upotreba LLM modela, sa logikom koja je prikazana u radu, nije opravdana.

Ključne reči: Svetlosni signali, Upravljanje saobraćajem u realnom vremenu, Raskrsnice, Simulacija.

1 UVODNA RAZMATRANJA

Saobraćajni problemi sa kojima se susreću stanovnici urbanih sredina predstavljaju jedan od glavnih nedostataka kada je reč o kvalitetu života u gradskim sredinama. Usled velikih zahteva učesnika u saobraćaju koji ne mogu da se zadovolje sa postojećim kapacitetima pribegava se tehnikama koje pokušavaju da upravljaju saobraćajnim zahtevima i na taj način optimalnije koriste postojeće kapacitete. Mesta koja predstavljaju kritične tačke koje korisnici koriste pri svom svakodnevnom kretanju su svakako raskrsnice. Usled velikog broja učesnika i tokova koji se susreću, a ujedno i razlikuju prema načinu korišćenja saobraćajne infrastrukture, neophodno je svakom omogućiti efikasan i bezbedan način prolaska kroz raskrsnicu. Postavljanje svetlosne saobraćajne signalizacije na mestima ukrštanja saobraćajnih tokova već dugi niz godina predstavlja jedno od najrasprostranjenijih rešenja koje se implementira sa ciljem optimizacije saobraćajnog procesa. Usled napretka tehnologije prikupljanja podataka i njihove obrade razvili su se sistemi koji pružaju savremeniji i napredniji način upravljanja

signalisanim raskrsnicama, konkretno u ovom radu koriste se veliki jezički modeli u upravljanju i njihov način upravljanja poredi se sa sistemom baziranim na pravilima.

Kako je primena veštačke inteligencije aktuelna tema u različitim oblastima tako je našla primenu i u saobraćajnom inženjerstvu. Jedna od oblasti gde se analizira primena veštačke inteligencije, jeste njena integracija u sisteme autonomnih vozila. Neka istraživanja su pokazala da je moguće pomoću LLM-a preneti preferencije vozača, odnosno putnika o načinu na koji autonomno vozilo treba da se kreće, da ono vozi kako vozač želi[1]. Takođe je testirana njegova primena u prepoznavanju saobraćajnih situacija na putu, gde se LLM navodi da donosi odluke i ponaša se kako bi čovek reagovao u datim okolnostima, gde se došlo do zaključka da bi mogao da ima značajan uticaj na povećanje bezbednosti i efikasnosti saobraćaja [2].

Kada je reč o testiranju modela upravljanja signalisanim raskrsnicama testirani su različiti modeli kao i različiti scenariji upravljanja, da bi se došlo do zaključka o mogućnostima LLM-a. Kako postoji više modela, pretpostavka da nisu svi podjednako efikasni u zavisnosti od oblasti primene, navela je istraživače da testiraju kako različiti modeli donose odluke i kakav uticaj te odluke imaju na performanse sistema. Zaključeno je da model GPT 4.0 daje najbolje rezultate od testiranih [3].

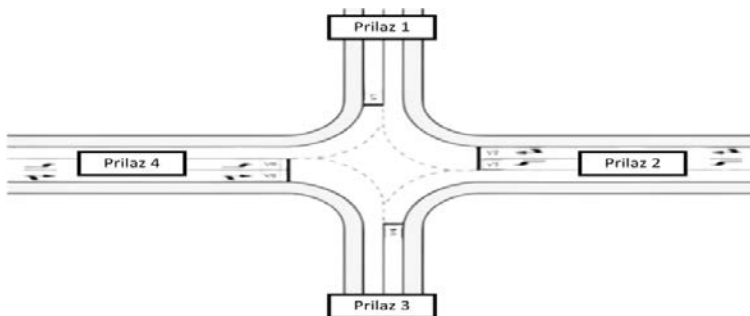
Takođe su sprovedena testiranja u složenijim situacijama kada postoje vanredne okolnosti, nailazak vozila kojima se daje prvenstvo prolaza i slične situacije gde je potrebno da se LLM prilagodi novim okolnostima. Zaključak da LLM može razumno upravljati signalisanom raskrsnicom uz obrazloženje donetih odluka [4].

2 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

U ovom delu rada biće predstavljena metodologija sprovedenog istraživanja. Koraci koji su pratili istraživanje: odabir predmeta (lokacije) istraživanja, sredstvo istraživanja, definisanje ulaznih parametara, tehnologija detekcije vozila na raskrsnici, odabir načina upravljanja raskrsnicom, i metoda analize i poređenja različitih načina upravljanja.

2.1 Saobraćajne karakteristike hipotetičke raskrsnice

Predmet istraživanja je model hipotetičke izolovane četvorokrake raskrsnice na kojoj će se porediti parametri efikasnosti rada svetlosnih signala za dva načina upravljanja. Nailazak vozila na izolovanu raskrsnicu je slučajan.



Slika 1: Prikaz hipotetičke raskrsnice

Na raskrsnici nema pešaka, biciklista, parkiranja i stajališta javnog gradskog prevoza. Definisan je pun režim saobraćaja što znači da ne postoje ograničenja. Sve trake raskrsnice su širine 3 metra, radijusi desnih i levih skretanja su 12 metara. Na slici 1. je prikazan formiran model hipotetičke raskrsnice.

2.2 Ulazni podaci

Kada je reč o ulaznim podacima treba definisati vremenski period u kojem se sprovodi istraživanje kao i podatke o saobraćajnom opterećenju u periodu istraživanja. Istraživanje se sprovodi simulacijom opterećenja raskrsnice u trajanju od 3 sata. Vrednosti protoka se menjaju na časovnom nivou, što je prikazano Tabelom 1. U prvom satu su zadate početne vrednosti koje predstavljaju nezasićeno stanje. Nakon prvog sata protoci se uvećavaju za 20%, kako bi se testiralo funkcionisanje raskrsnice pri većim protocima. Treći sat predstavlja stanje u kojem su protoci na prilazima najmanji osim sporednog prilaza 1 koji ima najveće vrednosti protoka u 3 satu. Na ovaj način se testira uticaj povećanja broja zahteva na sporednom prilazu. Raspodela tokova po smerovima kretanja se menja na nivou od 15 minuta. Kada je reč o strukturi toka na hipotetičkoj raskrsnici njega čine samo putnički automobili, čime su uspostavljeni praktično idealni uslovi.

Tabela 1: Saobraćajno opterećenje raskrsnice za svaki sat simulacije

Prilaz	Sat Simulacije		
	1. sat	2. sat	3. sat
1	200	240	350
2	700	840	595
3	250	300	213
4	600	720	510

2.3 Sredstvo istraživanja

Kada je reč o poređenju različitih sistema upravljanja u realnom vremenu obično se koriste mikro simulacioni modeli što je slučaj i u ovom radu. Istraživanje je sprovedeno u PTV Vissim softveru koji pruža mogućnost modelovanja, simulacije i analize saobraćajnih rešenja. Takođe, razvoj rešenja realizovan je u okruženju PyCharm 2025.2.0.1, uz korišćenje COM interfejsa za rad sa softverom PTV Vissim i LLM modela Gemini 2.5 Flash . Parametar koji je korišćen za poređenje efikasnosti upravljanja dva sistema su prosečni vremenski gubici po vozilu.

2.4 Tehnologija detekcije vozila na raskrsnici

Prethodno je rečeno da se raskrsnicom upravlja u realnom vremenu, za njeno upravljanje je neophodno posedovati podatke o zahtevima u realnom vremenu. Tehnologija koja se koristi za detekciju vozila na raskrsnici je video tehnologija koja daje evidenciju o broju vozila na prilazima raskrsnici na nivou jedne sekunde. Vozila se broje na prilazima raskrsnici na dužini od 100 metara.

2.5 Odabir načina upravljanja raskrsnicom

U radu su odabrana dva načina upravljanja. Prvi koji predstavlja sistem upravljanja baziran na pravilima. U današnjoj praksi u ovakvim sistemima se najčešće koristi interval sleđenja između vozila (t_h) kao parametar koji vrednuje intenzitet pražnjenja reda na

prilazima signalisanoj raskrsnici. Kako je t_h parametar mikroskopski, ideja rada je da se on zameni sa jednim makroskopskim pokazateljom koji opisuje stanje u kojem se nalazi saobraćajni tok. Usled razvoja video tehnologije i mogućnosti detektovanja vozila na odseku nekog puta, izabran je parametar najbližnji gustini saobraćajnog toka koji ima zadatak u zavisnosti od postavljene kritične vrednosti parametra da vrednuje intenzitet pražnjenja reda vozila na prilazu. Parametar je definisan kao broj vozila na dužini od 100 metara prilaza raskrsnici, ukoliko je broj vozila manji ili jednak kritičnoj vrednosti parametra znači da se red ne prazni željenim intenzitetom i da treba da se pređe u drugu fazu. Situacija kada je broj vozila veći od kritične vrednosti znači da se prilaz prazni željenim intenzitetom i da treba da se ostane u fazi. Prethodno opisan parametar u radu se naziva uniforman kritičan broj vozila na prilazu (OC- Occupation).. Algoritam upravljanja svetlosnim signalima zasnovan na pravilima kreiran je u „VisVAP-u“. Parametar OC se testira za vrednosti od 1 do 10 vozila na 100 metara. Analizom parametara efikasnosti rada svetlosnih signala primenom svake od vrednosti parametra OC, vrednuje se njegov uticaj na rad svetlosnih signala kako bi se identifikovala optimalna vrednost parametra OC.

Drugi način upravljanja koristi logiku modela zasnovanog na pravilima i potpomaže se upotrebom LLM modela. U skorijem istraživanju primene LLM u upravljanju signalisanim raskrsnicom gde se koristio LLM actor-critic algoritam, analizom primenjenog modela je zaključeno da se ostvaruju veće uštede primenom LLM-a nego upotrebom drugih modela upravljanja. Kako u navedenom istraživanju su se koristili actor i critic algoritmi, a u ovom istraživanju samo actor ukratko će se objasniti razlike između njih. Actor ima zadatak da na osnovu trenutnih okolnosti (situacije) donese odluku, odnosno određenu akciju koja bi trebalo da bude definisana određenim skupom akcija (npr. U zavisnosti od situacije produži zeleno za 1, 2, 3, 4 ili 5 sekundi ili pređi u narednu fazu). Kritik ima zadatak da analizira donesenu odluku actor-a na osnovu čega nagrađuje actora prema kvalitetu donesene odluke. Nagrade se zapisuju u bazu podataka prema okolnostima u kojima je donesena odluka. Kasnije actor koristi bazu podataka kao bazu iskustava prema kojima donosi odluke u budućnosti [5].

U ovom radu se koristi samo actor LLM model zbog čega je jednostavniji što možda i predstavlja jedan od razloga zbog čega su rezultati lošiji. LLM model koji je korišćen u istraživanju je „Gemini 2.5 flash“. LLM na svakih 600 sekundi simulacije donosi nove vrednosti parametra OC za svaku fazu, u ovom slučaju parametar nije uniforman.

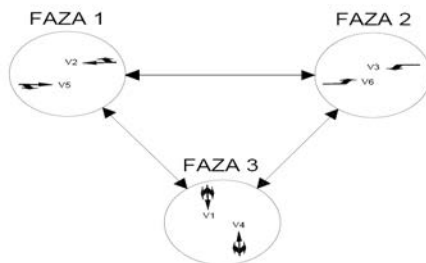
3 OPTIMIZACIJA RADA SVETLOSNIH SIGNALA

3.1 Model upravljanja svetlosnim signalima zasnovan na pravilima

Ideja izrade algoritma se ne zasniva na tradicionalnim načinima optimizacije rada na raskrsnici u realnom vremenu. Parametri kao što su minimalno i maksimalno zeleno vreme ne predstavljaju izlaz iz nekog od modela optimizacije svetlosnog signala, već su ove vrednosti u direktnoj sprezi sa brojem vozila koji se nalazi u jednom trenutku na raskrsnici.

Raskrsnicom se upravlja u tri faze (Slika 2.), pri čemu je omogućen prelazak između svih faza i prelazak zavisi od ispunjenosti uslova u algoritmu.

Broj vozila na prilazima se koriste za proračun maksimalnih i minimalnih zelenih vremena, zbog čega su trajanja minimalnog odnosno maksimalnog zeleneog dinamična i menjaju se u zavisnosti od saobraćajne situacije.



Slika 2: faze opsluživanja raskrsnice i mogući prelasci između faza

3.1.1 Minimalna zelena vremena

Minimalna zelena vremena algoritam računa se u prelaznom stanju, kada je odabrana faza u koju se prelazi, u tom trenutku se obrađuju podaci o broju vozila koji se nakupio za vreme crvenog signalnog pojma i traži se signalna grupa faze koja dobija zeleno sa većim brojem vozila, jer je ona merodavna za formiranje minimalnog zelenog vremena faze. Kao izlaz se dobija minimalno zeleno vreme koje je potrebno za opsluživanje reda koji se nakupio na prilazu za vreme crvenog. Formula za obračun minimalnog zelenog vremena:

$$Z_{min} = MAX(OCV) * t_h \quad (1)$$

Z_{min} – minimalno zeleno vreme (s)

$MAX(OCV)$ – maksimalan broj vozila signalne grupe faze koja dobija zeleno (voz)

$t_h=2$ – interval sleđenja vozila pri pražnjenju reda (s)

3.1.2 Maksimalno zeleno vreme

Maksimalno zeleno vreme je takođe dinamično, i zavisi od tri uslova koja su vezana za stanje na raskrsnici.

- 1) Prvi uslov može da se smatra osnovnim ,koji je u najvećoj meri vremenski određen, formiran je na osnovu kriterijuma da nijedna signalna grupa ne bi trebalo da čeka duže od 120 sekundi. Pošto je neophodno da prođe prvo uslov minimalnog zelenog definisana je vrednost kod uslova trajanja crvenog neke faze od 110 sekundi. Ukoliko je vreme trajanja ≥ 110 s, izlaz iz uslova je DA, i naredba je da ta signalna grupa dobije zeleno.
- 2) Drugi uslov je vezan za maksimalnu dužinu reda kod signalne grupe koja čeka pravo prolaska kroz raskrsnicu. Vrednost je definisana i važi da ukoliko je broj vozila na nekom prilazu veći od 15, signalna grupa dobija zeleno. Navedena kritična vrednost jeste fiksna, ali ne može da se odredi trenutak u kom će se nakupiti kritičan broj vozila, pa i ovaj uslov zavisi isključivo od saobraćajne situacije.
- 3) Treći uslov koji zapravo daje dinamiku odlučivanja predstavlja parametar koji definiše kritičnu vrednost broja vozila na prilazu za vreme trajanja zelenog

signalnog pojma (OC). Navedeni parametar ima zadatak da odredi da li na prilazu postoji zahtev koji je poželjan za ostanak u fazi, odnosno da li se signalna grupa prazni željenim intenzitetom. U radu se porede rezultati različitih vrednosti ovog parametra, tako što se polazi od vrednosti za 1 vozilo, i testira se do vrednosti za 10 vozila.

3.1.3 Odabir naredne faze

Odabir faze u koju će se preći realizuje se u delu algoritma koji sledi nakon prethodno navedenih uslova, odnosno ulazi se u deo algoritma nakon ispunjenja prethodnih uslova.

- 1) Prvi upit koji se postavlja jeste da li na prilazima postoje zahtevi, jer ako ne postoje, cilj je da se ostane u postojećoj fazi.
- 2) Drugi upit traži fazu koja čeka više od 110 sekundi, ukoliko takva postoji.
- 3) Treći uslov proverava koja faza ima veće zahteve, odnosno bira se faza kod koje je zbir vozila na prilazima veći.

Raskrsnicom se upravlja u tri faze (Slika. 2), pri čemu je omogućen prelazak između svih faza i prelazak zavisi isključivo od ispunjenosti uslova u algoritmu.

3.2 Model upravljanja svetlosnim signalima pomoću LLM-a

LLM kod upravljanja navedenom hipotetičkom raskrsnicom se u velikoj meri oslanja na algoritam upravljanja svetlosnim signalima zasnovanim na pravilima. Logika rada svetlosnih signala na raskrsnici je u potpunosti ista kao kod prethodno objašnjenog modela. Razlika koja postoji je kod definisanja parametra kritične vrednosti broja vozila na prilazu (OC), kod modela zasnovanog na pravilima ova vrednost je uniformna, a kod LLM modela je ona dinamična i menja se na svakih 600 sekundi u zavisnosti od određene funkcije nagrade. LLM ima zadatak da optimizuje kritične vrednosti broja vozila za svaku fazu u realnom vremenu na osnovu prethodnih iskustava. Na ovaj način i ovaj parametar dobija dinamiku i pokušava da se prilagodi zahtevima. Pseudo kod je prikazan u nastavku gde mogu da se primete radnje i procesi koji se realizuju tokom simulacije.

- 1) *Postavljanje putanje do Vissim modela i definisanje parametara simulacije (Vreme trajanja simulacije, broj pokretanja, maksimalna dužina reda vozila = 15, maksimalna dužina crvenog = 110, početne OC vrednosti i definisanje prelaznih stanja)*
- 2) *AI nagrada za promenu faza (procedura objašnjena tačkom 3.2.1.)*
- 3) *Glavna funkcija koja daje instrukcije za jednu simulaciju*
 - *Postavi parametre simulacije*
 - *Povezivanje sa Data Collection objektima (detektori za prikupljanje podataka o saobraćaju) i definisanje funkcije računanja broja vozila po trakama*
 - *Učitavanje kontrolera i signalnih grupa*
 - *Inicijalno stanje (početna faza, brojač trajnja crvenog vremena, brojač trajanja faze)*
 - *Glavna petlja (funkcioniše po 1 tik, u ovom slučaju svaki sekund ima 10 tikova)*
 - o *Za svaki tik pokreni jedan korak simulacije*

- o Svakih 600 sekundi koristi funkciju `get_new_OC_values_gemini` koja poziva LLM da odredi nove OC vrednosti
 - o U jednom sekundu pročitaj vrednosti sa `Data Collection` objekta, izračunaj broj vozila po trakama, proveri minimalno zeleno, proveri vrednosti maksimalnih zelenih vremena. Kada je prelazno stanje izračunaj minimalno zeleno, izračunaj nagradu i zapiši je.
- 4) Funkcija dodeljivanja novih OC vrednosti
- Na svakih 600 sekundi pročitaj prosečne nagrade iz poslednjeg intervala
 - Analiziraj trenutne OC vrednosti i prosečnu nagradu
 - Zatraži nove OC vrednosti (1-10)
 - Ažuriraj OC vrednosti
- 5) Glavna funkcija
- Pokreni Vissim putem COM interfejsa
 - Učitaj `.inpx` i `.layx` mrežu
 - Za svako pokretanje u opsegu definisanog broja pokretanja, pokreni jednu simulaciju
 - Ispiši poruku da su sve simulacije završene

3.2.1 Funkcija nagrade

LLM obračunava nagradu u svakom prelaznom stanju, jedina situacija kada se nagrada ne računa je u slučaju kada je faza u potpunosti ispražnjena, odnosno kada na prilazima koji su se opsluživali za vreme prethodne faze, nema vozila. Izuzetak je napravljen jer parametar kritične vrednosti broja vozila na prilazu nema uticaj, već je situacija prouzrokovana dinamičnim minimalnim zelenim vremenom. Nagrada se računa prema sledećoj formuli:

$$R = 1 - \frac{|V_L - V_W|}{M} \quad (2)$$

R – vrednost nagrade

V_L – broj vozila signalne grupe sa većim brojem zahteva koja gubi zeleno

V_W – broj vozila signalne grupe sa većim brojem zahteva koja dobija zeleno

M – konstanta normalizacije, maksimalan broj vozila koji može da bude u traci ($M=15$)

Primenom funkcije se vrši nagrađivanje na osnovu poređenja zahteva između faze koja gubi i faze koja dobija. Cilj je da razlike između broj vozila na prilazu sa većim brojem zahteva faze koja gubi i broj vozila na prilazu sa većim brojem zahteva faze koja dobija bude što manja. Idealni slučaj kad je razlika jednaka 0, nagrada uzima vrednost 1. Na ovaj način se vrednuje izmena faze, odnosno da li je vrednost kritičnog broja vozila na prilazu dobro definisana.

3.2.2 Logika predlaganja novih vrednosti OC

Na svakih 600 sekundi simulacije donose se nove vrednosti parametra OC. LLM analizira dva parametra u prethodnom periodu, prosečnu vrednost nagrade po fazama i prosečno trajanje zelenog vremena po fazama. Kako nagrada treba da teži vrednosti 1, što je idealna vrednost, cilj LLM-a je da prosečnu nagradu za period približi vrednosti 1. Uticaj na nagradu ima odabir vrednosti parametra OC, ali on može da podbaci ili da prebaci sa odabirom parametra. LLM ima širok spektar vrednosti koje može da izabere u

intervalu od 1 do 10. Kada analizira odluku u prethodnom periodu može da kaže „prosečna vrednost nagrade nije zadovoljavajuća“, ali onda treba da utvrdi da li je odabrao visoku ili nisku vrednost parametra OC. Za analizu vrednosti OC u smislu ispitivanja da li je vrednost prebacila ili podbacila koristi se prosečno vreme trajanja zelenog. Ako je vreme trajanja zelenog duže, a nagrada mala, znači da je podbacio sa odabirom OC vrednosti, suprotan scenario se primenjuje kada je prebacio. Funkcionalna relacija za odabir koju koristi za analizu prethodnog perioda:

$$diff = 1 - AVG(reward) \quad (3)$$

diff – parametar koji određuje koliko prosečna nagrada svake faze odstupa od idealne

AVG(reward) - prosečna nagrada za fazu u prethodnom period od 600 sekundi (period pre postavljanja novih OC vrednosti)

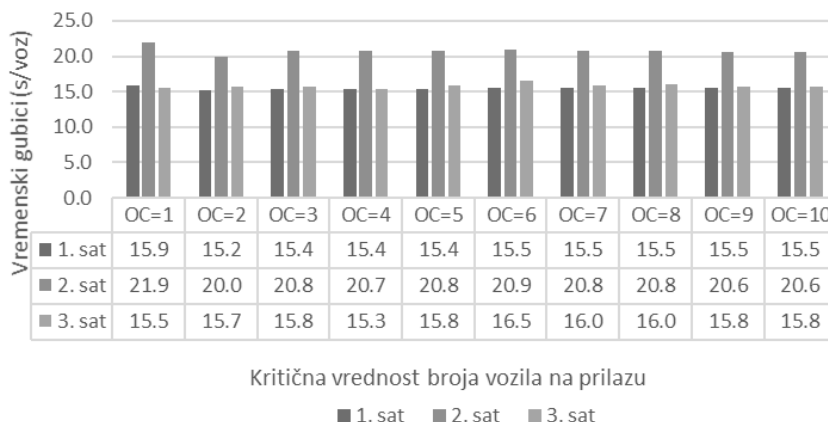
4 DISKUSIJA REZULTATA

Analiza rezultata se sprovodi na osnovu izlaznih podataka simulacije, odnosno prosečnih vremenskih gubitaka po vozilu. Rezultati se diskutuju u dva dela. Prvi deo predstavlja poređenje rezultata simulacije kada su birane uniformne vrednosti kritičnog broja vozila na prilazima. Drugi deo predstavlja poređenje modela zasnovanog na pravilima i upravljanja svetlosnim signalima pomoću LLM modela i analiza donesenih odluka.

4.1 Analiza rezultata upravljanja zasnovanom na pravilima

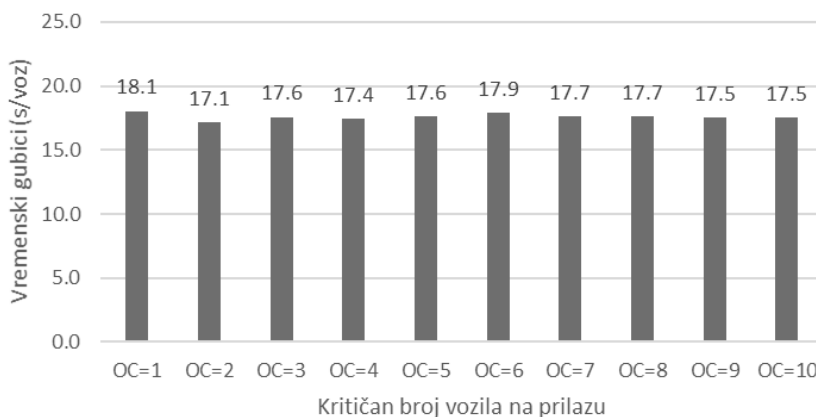
Analiza efikasnosti upravljanja svetlosnim signalima zasnovanom na pravilima, koji koristi parametar kritičan broj vozila na prilazu raskrsnici za optimizaciju procesa pražnjenja reda, diskutuje se na nivou svakog sata simulacije i na nivou celokupne simulacije. Analiza je prikazana narednim grafikonima.

Kako se saobraćajna slika raskrsnice razlikuje po satima, analiza uticaja različitih vrednosti protoka prikazana je na grafikonu 1. U prvom satu je uočeno da izbor parametra OC=2 ostvaruje najmanje prosečne vremenske gubitke, ali takođe može da se zaključi da primenom parametra OC=[6, 7, 8, 9, 10] ostvaruju identične vrednosti prosečnih vremenskih gubitaka, odnosno parametar više nema uticaj. U drugom satu simulacije kada su zahtevi najveći, prosečni vremenski gubici su najmanji primenom parametra OC=2, dok parametar gubi uticaj odabirom OC=[9,10]. U trećem satu simulacije kada su zahtevi najmanji ali se povećava udeo zahteva na sporednom pravcu, najmanja vrednost prosečnih vremenskih gubitaka se ostvaruje primenom parametra OC=1, takođe parametar gubi uticaj odabirom OC=[9,10].



Grafikon 1: Analiza rezultata simulacije primenom sistema baziranog na pravilima za svaki sat simulacije

Kada je reč prosečnim vremenskim gubicima na nivou simulacije od 3 sata analiza je prikazana Grafikonom 2. Najmanji prosečni vremenski gubici po vozilu se ostvaruju primenom parametra OC=2, dok parametar gubi značajnost odabirom parametra OC=[9,10]. Analizom dijagrama može da se zaključi da na prosečne vremenske gubitke može da se utiče smanjenjem od 2 do 5 %, u zavisnosti od odabira uniformne vrednosti kritičnog broja vozila na prilazu.



Grafikon 2: Analiza rezultata simulacije primenom sistema baziranog na pravilima na nivou simulacije

4.2 Analiza rezultata upravljanja pomoću LLM modela

Kako je kritična vrednost broja vozila na prilazu jedini parametar kojim LLM upravlja i gde predlaže nove vrednosti u zavisnosti od nagrada koje dobija u prethodnom periodu, cilj je da se analiziraju njegove odluke i donesu neki zaključci. LLM tokom jedne simulacije koja traje 11700 sekundi na svakih 600 sekundi donese nove vrednosti parametara OC, što je 20 izmena. Realizovano je 5 simulacija zbog čega je on ukupno realizovao 100 izmena. Tabelom 2. su prikazane njegove odluke tokom simulacije.

Tabela 2: Odluke LLM-a o vrednostima parametra OC za svaku fazu

	Odabrana vrednost kritičnog broja vozila na prilazu od strane LLM-a (broj donetih odluka za 5 simulacija)									
OC parametar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Faza 1	0	1	1	1	1	1	1	1	2	91
Faza 2	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Faza 3	1	2	3	1	1	1	1	2	18	70

Analizom Tabele 2. može se doći do određenih zaključaka:

- Prvi zaključak koji je veoma očigledan i vezan za odabir OC vrednosti za fazu 2. LLM je uvek birao vrednost 1, odnosno postoji razlog zašto ga nije uzimao u obzir. Kako je definisano minimalno zeleno koje je promenljivo i prilagodljivo broju vozila koji se formira tokom crvenog, kada faza dobije zeleno isprazne se sve signalne grupe, a nagrada se ne računa u ovakvim slučajevim jer u ovakvom slučaju OC vrednost nema uticaj već dinamično minimalno zeleno. Iz ovog razloga LLM nema na osnovu čega da donese drugačiju odluku, pa uvek bira vrednost 1.
- Kada je reč o odabiru OC vrednosti za faze 1 i 3 postoji veći broj izmena, LLM predlaže različite vrednosti, ali može da se primeti da najčešće bira visoke vrednosti parametra OC kao što su 9 i 10. Ovakve odluke su povezane sa načinom nagrađivanja, odnosno funkcija nagrade je takva da LLM prepoznaje da za visoke vrednosti parametra OC dobija zadovoljavajuće nagrade, zbog čega on često bira baš takve vrednosti. Takođe je i kod ovih faza primećen veliki broj preskakanja, odnosno, da se red isprazni tokom minimalnog zelenog i da se nagrada ne uzima u obzir.

4.3 Poređenje parametra efikasnosti modela zasnovanog na pravilima sa uniformnom vrednosti OC=2 i LLM modela

Kako je analizirana i odabrana optimalna uniformna vrednost parametra OC=2 u modelu upravljanja koji je zasnovan na pravilima, sada je cilj da se takav vid odlučivanja uporedi sa odlukama koje donosi LLM model. Narednom tabelom i dijagramima su upoređeni prosečni vremenski gubici po signalnim grupama, za svaki sat simulacije. Zelenom bojom su obeležene vrednosti koje imaju manje vremenske gubitke u odnosu na model upravljanja sa kojim se porede.

Analizom tabele 3. može da se zaključi da jedino signalne grupe V3 i V6 koje pripadaju fazi 2 imaju manje prosečne vremenske gubitke kada LLM odlučuje o kritičnim vrednostima broja vozila na prilazu. Svakako da je ovakav rezultat povezan sa odabirom vrednosti parametra za druge faze. Analiza tabele 2 naglašava da se često biraju visoke vrednosti parametra, u tom slučaju vozila koja se opslužuju u drugoj fazi dobijaju ranije zeleno, zbog čega se vremenski gubici smanjuju. U trećem satu simulacije zaključuje se da se ostvaruju manji vremenski gubici primenom LLM-a kod faza 1 i 2. Prilaz 1 ima najveće zahteve u trećem satu simulacije dok ostali prilazi imaju najmanje u poređenju sa prethodnim satima. Primenom parametra OC=2, faza 3 ima lakši uslov za ostanak u fazi nego kada se primenom LLM-a predlažu više vrednosti parametra OC. Kako su zahtevi veći na prilazu 1, a uslov za izlazak iz faze teži primenom parametra OC=2 nego kada LLM bira više vrednosti parametra OC=9 ili 10, duže se ostaje u fazi 3, zbog čega su vremenski

gubici manji primenom parametra OC=2 nego primenom LLM modela. Kada je reč o fazi 1, bolji rezultati se dobijaju primenom LLM modela jer je prelaz u fazu 1 lakši zbog primene viših vrednosti parametra OC, i kraće se ostaje u fazi 3.

Tabela 3: Komparativna analiza prosečnih vremenskih gubitaka primenom modela zasnovanog na pravilima i LLM-a

Faza	Signalna grupa	Prosečni vremenski gubici (s/voz)					
		1. sat		2. sat		3. sat	
		OC=2	LLM	OC=2	LLM	OC=2	LLM
3	V1	18.5	22.2	23.6	29.4	15.2	20.2
1	V2	11.0	11.6	15.3	15.6	13.3	12.2
2	V3	35.1	28.6	42.2	37.3	35.7	33.7
3	V4	18.2	21.9	25.1	29.1	13.5	18.1
1	V5	10.1	11.1	12.9	13.7	12.2	11.3
2	V6	32.4	29.3	40.4	43.5	37.9	37.4
	Raskrsnica	15.2	16.0	20.0	21.2	15.7	16.7

5 ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U radu su prikazani rezultati upravljanja signalisanom raskrsnicom upotrebom dva modela. Poređenjem rezultata može da se zaključi da upotreba LLM-a na način koji je prikazan u radu nije opravdan i da se bolji rezultati ostvaruju primenom modela zasnovanog na pravilima.

Najveći nedostatak primenjenog načina upravljanja gde se koristi LLM predstavlja njegova indirektnost u donošenju odluka. Kako LLM utiče samo na parametar OC za koji je u prvom delu rada dokazano da ne utiče u velikoj meri na prosečne vremenske gubitke, pa ni LLM u ovom slučaju ne može u većoj meri da pokvari ili da poboljša rezultate. S druge strane, ukoliko mu se da veća sloboda, postoji i veći rizik greške, ali se povećava i mogućnost poboljšanja rezultata.

U modelu koji je upotrebljen, koristio se samo actor za donošenje odluka o izmenama prema prethodno prikazanom modelu. Naredna mogućnost bi bila upotreba critic agenta koji se koristi za ocenjivanje donetih odluka actor-a na osnovu čega actor zna da li je pri određenim uslovim doneo dobru ili lošu odluku, pa u budućnosti pri istim ili sličnim uslovima može da zna kakve rezultate mu je slična odluka donela u prošlosti. Unapređenje modela critic agentom je jedna od mogućnosti koja bi mogla da utiče na rezultate simulacije.

Takođe, komplikovanije saobraćajne situacije gde bi LLM analizirao više parametara ili učesnika kao što su pešaci, biciklisti ili javni prevoz, daje više prostora LLM-u za razmišljanje i optimizovanje saobraćajne situacije. Kada je model složeniji, zahteva veće napore za njegove kreiranje, ali u tom slučaju LLM bi dao veće analitičke mogućnosti pa samim tim i bolje rezultate.

Kako primena LLM-a predstavlja jedan od novih alata koji se nudi inženjerima, daljim istraživanjem treba naći način i uslove koji opravdavaju njegovu primenu. Kroz ovaj rad navedeni su neki od predloga za dalje istraživanje koji bi mogli da daju jasniju sliku o načinu na koji treba da se koristi LLM u upravljanju saobraćajnim situacijama.

LITERATURA

- [1] C. Cui, Y. Ma, X. Cao, W. Ye, and Z. Wang, "Receive, Reason, and React: Drive as You Say with Large Language Models in Autonomous Vehicles," Oct. 2023, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2310.08034>
- [2] D. Fu et al., "Drive Like a Human: Rethinking Autonomous Driving with Large Language Models," Jul. 2023, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2307.07162>
- [3] L. Da et al., "Open-TI: Open Traffic Intelligence with Augmented Language Model," Dec. 2024, doi: 10.1007/s13042-024-02190-8.
- [4] M. Wang, A. Pang, Y. Kan, M.-O. Pun, C. S. Chen, and B. Huang, "LLM-Assisted Light: Leveraging Large Language Model Capabilities for Human-Mimetic Traffic Signal Control in Complex Urban Environments," Jun. 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2403.08337>
- [5] A. Jovanović, A. Uzelac, D. Teodorović, and K. Kukić, "TRAFFIC SIGNAL CONTROL AT DISPLACED LEFT-TURN INTERSECTIONS USING AN LLM-BASED ACTOR-CRITIC ALGORITHM," Expert Syst. Appl., vol. 301, Mar. 2026, doi: 10.1016/j.eswa.2025.130555.

SUMMARY

Application of Large Language Models in Signalized Intersection Control

Abstract: This paper presents the development of a real-time traffic signal control model based on the analysis of the critical number of vehicles on an intersection approach (OC) within the PTV Vissim simulation environment. The study consists of two research phases. In the first phase, traffic signal control is performed using a conventional VAP controller without the application of artificial intelligence. In the second phase, the decision-making process is enhanced through the use of a Large Language Model (LLM).

In the baseline model, signal group control is performed based on predefined threshold values for the critical number of vehicles on the intersection approaches (OC). In the extended model, the Large Language Model acts as an agent that analyzes simulation results every 600 seconds and determines new values of the OC parameters, with the aim of optimizing the queue discharge process at the intersection.

The analysis compares traffic signal performance indicators, specifically the time losses associated with each of the applied control strategies. Based on the comparison of time losses, it was concluded that the use of an LLM with the logic presented in this paper is not justified.

Keywords: Traffic signals, Real-time traffic control, Intersections, Simulation.

Usklađenost stalne i izmenjive saobraćajne signalizacije u zimskim uslovima odvijanja saobraćaja na državnim putevima²

Aleksandar Canić, Putevi Srbije d.o.o, Beograd, aleksandar.canic@putevi-srbije.rs

Rezime: Tokom zimskog održavanja puteva, operateri u kontrolnim centrima suočavaju se sa sistemskim problemom neusklađenosti između izmenjive saobraćajne signalizacije na portalima (VMS) i postavljenih fiksnih saobraćajnih znakova. Prema važećem Rešenju Ministarstva, u uslovima snežnih padavina brzina se ograničava na 60 km/h za puteve prvog prioriteta, što se na terenu signalizira postavljenim znakovima II-30 (60) i IV-7.1. Međutim, trenutno implementirani automatski signalni planovi na otvorenim deonicama za scenarije „Vremenske nepravilnosti – sneg 2“ i „Vremenske nepravilnosti – poledica“ generišu restriktivnije ograničenje od 40 km/h. Ova neusklađenost stvara nekontinuirano vođenje saobraćaja i dovodi vozače u zabludu u pogledu stvarnog i zakonskog ograničenja brzine.

Kako bi prevazišli ovaj konflikt u signalizaciji, operateri u praksi primenjuju neformalne procedure i ručno pokreću alternativne scenarije koji prikazuju zakonsko ograničenje od 60 km/h. Međutim, ovakva improvizacija narušava tačnost tekstualnih informacija na portalima, jer generiše opšte poruke o klizavom kolovozu umesto specifičnih upozorenja na sneg ili poledicu. Zbog toga su operateri prinuđeni da naknadno, ručnim putem koriguju tekstualni sadržaj na znakovima kako bi vozačima pružili tačne podatke o stanju na putu.

Ova praksa ukazuje na hitnu potrebu za pronalaženjem optimalnog i zajedničkog rešenja koje bi uskladilo fiksnu i izmenjivu saobraćajnu signalizaciju u zimskim uslovima. Cilj je postići međusobnu sinergiju oba sistema. Definisanjem usaglašenih protokola i harmonizacijom postavljenih znakova sa VMS algoritmima eliminisala bi se potreba za improvizacijom operatera. Na taj način obezbedilo bi se uniformno i logično informisanje učesnika u saobraćaju, čime se direktno podiže nivo bezbednosti i efikasnosti odvijanja saobraćaja.

Ključne reči: zimsko održavanje puteva, saobraćajni scenariji, ograničenje brzine, usklađivanje signalizacije, upravljanje saobraćajem

1 UVOD

U Republici Srbiji se na značajnom broju državnih puteva primenjuju inteligentni transportni sistemi (ITS) koji integrišu podatke prikupljene putem saobraćajnih i meteoroloških senzora, sistema video-nadzora i drugih izvora, radi njihove obrade, interpretacije i donošenja upravljačkih odluka, kao što su automatska detekcija incidenata, informisanje vozača putem izmenjive saobraćajne signalizacije i dinamičko upravljanje ograničenjima brzine.

² CC BY-NC-ND licenca

Prema važećem Zakonu o bezbednosti saobraćaja na putevima i Pravilniku o saobraćajnoj signalizaciji, stalna i izmenjiva saobraćajna signalizacija imaju isto pravno značenje, zbog čega je njihova međusobna usklađenost od ključnog značaja. U suprotnom može doći do istovremenog prikazivanja različitih ograničenja brzine za iste uslove odvijanja saobraćaja, narušavanja kontinuiteta vođenja saobraćaja i gubitka poverenja vozača u informacije koje im sistem pruža.

Ovaj problem posebno dolazi do izražaja tokom zimskog režima odvijanja saobraćaja, kada se istovremeno primenjuju stalna zimska signalizacija i promenljiva signalizacija zasnovana na podacima sa meteoroloških stanica. U pojedinim situacijama takav način upravljanja dovodi do konflikta između ograničenja brzine propisanih stalnom signalizacijom i onih koje prikazuje VMS sistem.

Cilj rada je analiza uzroka ove neusklađenosti, poređenje domaće prakse sa međunarodnim iskustvima i razmatranje mogućnosti primene dinamičkog modela određivanja ograničenja brzine zasnovanog na dužini vidljivosti i koeficijentu prijanjanja kolovoza.

2 STALNA SAOBRAĆAJNA SIGNALIZACIJA TOKOM ZIMSKOG ODRŽAVANJA DRŽAVNIH PUTEVA

Preduzeće „Putevi Srbije“ svake godine donosi Plan zimskog održavanja državnih puteva I i II reda, kojim se definišu aktivnosti neophodne za obezbeđenje prohodnosti i bezbednog odvijanja saobraćaja tokom zimskog perioda, kao i prioriteti održavanja pojedinih putnih pravaca. Auto-putevi pripadaju putevima prvog prioriteta, dok se ostali državni putevi razvrstavaju u odgovarajuće prioritete u skladu sa značajem putnog pravca [3].

U skladu sa ovim Planom Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture svake godine donosi Rešenje kojim se u uslovima snežnih padavina propisuje ograničenje brzine od 60 km/h na putevima prvog prioriteta, odnosno 40 km/h na putevima drugog i trećeg prioriteta [3]. Istim rešenjem odobrava se postavljanje privremene zimske saobraćajne signalizacije u periodu od 1. novembra do 1. aprila, u skladu sa projektima saobraćajne signalizacije za zimsko održavanje državnih puteva [3].

Postavljanje zimskih saobraćajnih znakova podrazumeva primenu znaka „ograničenje brzine“ (II-30), uz dopunsku tablu IV-7.1, koja označava da ograničenje važi u uslovima snega, leda ili poledice na kolovozu (slika 1) [2].



Slika 1: Primer postavljene saobraćajne signalizacije na putevima I prioriteta zimskog održavanja

3 POSTUPANJE OPERATERA U KONTROLNIM CENTRIMA U SLUČAJU POJAVE SNEGA, LEDA ILI POLEDICE

Svake godine u zimskim uslovima odvijanja saobraćaja javlja se nedoumica kod operatera u kontrolnim centrima Puteva Srbije koji saobraćajni scenario je potrebno pokrenuti u zimskim uslovima odvijanja saobraćaja.

Kako je već rečeno, za vreme zimskog održavanja puteva, službe održavanja postavljaju saobraćajne znakove II-30(60) i IV-7.1 čime se korisnicima puta saopštava da u slučaju pojave snega, leda ili poledice na kolovozu, ograničenje brzine iznosi 60km/h.

Međutim, prema trenutno aktuelnim i odobrenim algoritmima upravljanja koji su proistekli iz projektno-tehničke dokumentacije, koji su implementirani na Centralni sistem za nadzor i upravljanje (CSNU) od strane izvođača i kao takvi predati Putevima Srbije na upravljanje, kako na otvorenim deonicama, tako i u tunelima, saobraćajni scenariji: „Vremenske neprilike – sneg 2“ (vidi sliku 2.) i „Vremenske neprilike – poledica“ (vidi sliku 3.) imaju ograničenje brzine od 40km/h, čime se stvara nekontinuirano vođenje saobraćaja, odnosno dolazi do sukoba dva različita ograničenja brzine za iste uslove odvijanja saobraćaja. Na slici 3. prikazana su dva tipa ispisa u konkretnom scenariju: na portalnom znaku (gornji ispis) i takozvanom „troznaku“ (donji ispis).

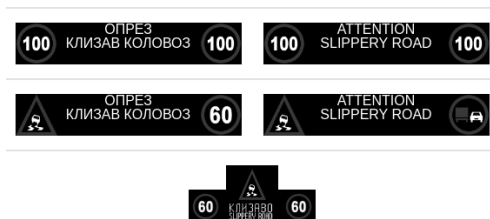


Slika 2: Primer scenarija „Vremenske neprilike – sneg 2“ sa tunelskih sistema



Slika 3: Primer scenarija „Vremenske neprilike – poledica“ sa otvorene deonice auto-puta

Posledice ovakvog vođenja saobraćaja u najmanju ruku može biti dovođenje korisnika puta u zabludu o trenutno važećem ograničenju brzine. Zbog toga, prethodnih godina iskristalisala se neformalna procedura za postupanje operatera u slučaju pojave alarma za poledicu, odnosno sloja snega visine veće od 50mm. Na urednu pojavu pomenutih alarma operateri umesto predloženih odgovarajućih saobraćajnih scenarija, vrše ručno pokretanje saobraćajnog scenarija: „Vremenske neprilike – klizavo 2“ (vidi sliku 4.).



Slika 4: Primer scenarija „Vremenske neprilike – klizavo 2“ sa otvorene deonice auto-puta

Saobraćajni scenario: „Vremenske neprilike – klizavo 2“ razlikuje se od saobraćajnih scenarija: „Vremenske neprilike – sneg 2“ i „Vremenske neprilike – poledica“ po tome što je ograničenje brzine sada 60km/h (što je i bio cilj), međutim tekstualni ispis na portalnim VMS-ovima glasi: „ОПРЕЗ КЛИЗАВ КОЛОВОЗ“, dok bi kod snega trebao da glasi: „ОПРЕЗ

СНЕГ“, a kod poledice: „ОПРЕЗ МОГУЋА ПОЛЕДИЦА“. Dakle, i dalje korisnicima puta nije data prava informacija o stanju kolovoza, pa operatori dodatno ručnom izmenom na znaku prilagođavaju ispile prema željenom saobraćajnom scenariju.

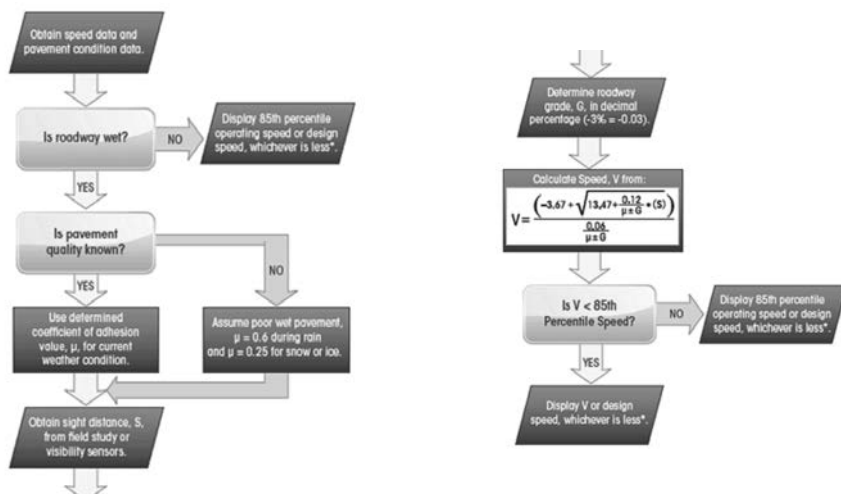
4 EVROPSKA I AMERIČKA ISKUSTVA U SLIČNIM SITUACIJAMA

U ovom delu rada prikazana su iskustva i rešenja koja su primenjena u inostranstvu, a u vezi su ograničenja brzine pri vremenskim neprilikama prvenstveno posmatrajući pojavu snega, leda i poledice na kolovozu.

4.1 Smernice za projektovanje sistema promenljivih ograničenja brzine u nepovoljnim vremenskim uslovima – Sjedinjene Američke Države

Prema američkim smernicama za projektovanje sistema promenljivih ograničenja brzine (VSL), njihova primena u nepovoljnim vremenskim uslovima opravdana je na deonicama na kojima vremenske prilike značajno utiču na odvijanje saobraćaja, postoji povećana stopa saobraćajnih nezgoda, neophodno je često smanjenje ograničenja brzine ili raspoloživa dužina vidljivosti nije dovoljna za bezbedno zaustavljanje vozila [4].

Osnovni parametri za određivanje ograničenja brzine su dužina vidljivosti i zaustavni put, pri čemu algoritam koristi podatke sa meteoroloških stanica, senzora kolovoza i saobraćajnih detektora kako bi izračunao maksimalnu bezbednu brzinu za trenutne uslove na putu (slika 5).



Slika 5: VLS algoritam za vremenske neprilike [4]

Izračunata brzina zaokružuje se na sledeći niži korak od 5 mi/h (10 km/h), pri čemu ne može biti veća od projektovanog niti manja od unapred definisanog minimalnog ograničenja. Algoritam koristi dužinu vidljivosti, koeficijent prijanjanja, uzdužni nagib i vreme percepcije i reakcije vozača, pri čemu je osnovna relacija data jednačinom (1), njen oblik u imperijalnim jedinicama jednačinom (2), a izvedeni oblik u metričkom sistemu jednačinom (3) [4].

$$S_{vid} = \frac{V^2}{2g(\epsilon\mu \pm i)} + t_r V \quad (1)$$

gde je:

- S_{vid} – dužina vidljivosti (imperijalna jed. [ft]; metrička jed. [m]),
- V – preporučena brzina (imperijalna jed. [ft/s]; metrička jed. [m/s]),
- g – ubrzanje zemljine teže (imperijalna jed. [32,2ft/s²]; metrička jed. [9,81m/s²]),
- ϵ - koeficijent efikasnosti kočionog sistema (usvaja se 1,00),
- μ - koeficijent priranja kolovoza (dobija se merenjem ili procenom),
- i – uzdužni nagib kolovoza (uspon ili pad), izražen u procentima,
- t_r – vreme percepcije + reakcije vozača (usvojeno 2,5s)

$$V = \frac{-3,67 + \sqrt{13,47 + \frac{0,12}{\mu \pm i} * S_{vid}}}{\frac{0,06}{\mu \pm i}} \quad (2)$$

$$V = -88,29(\mu \pm i) + 1,8\sqrt{2405,9(\mu \pm i)^2 + 78,48(\mu \pm i)S_{vid}} \quad (3)$$

Nakon izračunavanja preporučene brzine, ona se upoređuje sa projektovanim ograničenjem i trenutnim 85. percentilom brzine toka, pri čemu se na VSL-u prikazuje najmanja od ove tri vrednosti. Ograničenje se ažurira u skladu sa promenama uslova na terenu, ali ostaje prikazano najmanje jedan minut kako bi se izbeglo zbunjivanje vozača [4].

Analiza algoritma pokazuje da dužina vidljivosti predstavlja dominantan faktor pri određivanju preporučenog ograničenja brzine. Pri vidljivosti od 200 m, mokar kolovoz ima mali uticaj na preporučenu brzinu, dok sneg ($\mu = 0,3$) dovodi do njenog smanjenja na 90 km/h, a poledica ($\mu = 0,1$) na 60 km/h. Smanjenjem vidljivosti na 100 m preporučene brzine dodatno opadaju, pri čemu algoritam daje stroža ograničenja za kombinaciju smanjene vidljivosti i suvog kolovoza nego za dobru vidljivost uz prisustvo snega. Ograničenje od 40 km/h preporučuje se tek pri istovremenom dejstvu dva nepovoljna faktora – veoma male vidljivosti i veoma niskog koeficijenta priranja.

4.2 Uticaj magle i vetra na saobraćaj na autoputu A-8 – Alto del Fiouco, Španija

Kantabrijski auto-put A-8 (u daljem tekstu A-8) u oblasti Alto del Fiouco (Alto del Fiouco), karakterišu specifični vremenski uslovi sa pojavom guste magle praćene jakim vetrovima koji otežavaju vožnju. Zbog toga je ponekad neophodno zatvoriti auto-put i preusmeriti vozila na put N-634, jer nije moguće garantovati minimalne bezbednosne uslove za njegovo korišćenje.

Iz tog razloga, Generalna direkcija za saobraćaj (u daljem tekstu DGT) uspostavila je protokole za upravljanje putem u nepovoljnim vremenskim uslovima magle i vetra, i instalirala ITS opremu koja je omogućila efikasnije, bezbednije i automatsko upravljanje ograničenjima, odnosno potpunom obustavom saobraćaja, uz istovremeno povećanje broja sati tokom kojih je auto-put u funkciji [5].

Protokoli za maglu i vetar, koji su prikazani na slikama 6 i 7, uspostavljaju četiri nivoa koji povećavaju stepen ograničenja kako se uslovi na putu pogoršavaju.

WIND PROTOCOL CAPTION

● Wind speed	> 130km/h	Restriction: Closed road	
● Wind speed	> 80km/h	Restriction: speed limit	60km/h
● Wind speed	> 50km/h	Restriction: speed limit	80km/h
● Wind speed	> 30km/h	Recommendation: With wind, slow down	



Slika 6: Pragovi za promenu ispisa na VMS-ovima i zatvaranje deonice u slučaju jakog vetra [5]

Protokol za upravljanje saobraćajem usled jakog vetra definiše četiri nivoa reagovanja. Pri brzini vetra većoj od 30 km/h preporučuje se umerena brzina kretanja, dok se pri prekoračenju 50 km/h ograničenje brzine smanjuje na 80 km/h, a pri brzini vetra većoj od 80 km/h na 60 km/h. Kada brzina vetra premaši 130 km/h, predviđeno je potpuno zatvaranje auto-puta.

FOG PROTOCOL CAPTION

● Visibility	< 30m	Restriction: Closed road	
● Visibility	>= 30m y < 75m	Restriction: speed limit 60 km/h	
● Visibility	>= 75m y < 150m	Restriction: speed limit 80 km/h	
● Visibility	>= 150m y < 250m	Recommendation: With fog, slow down	



Slika 7: Pragovi za promenu ispisa na VMS-ovima i zatvaranje deonice u slučaju magle [5]

Sličan pristup primenjuje se i u uslovima magle. Pri vidljivosti od 150 do 250 m preporučuje se umerena brzina, dok se za vidljivost od 75 do 150 m ograničenje postavlja na 80 km/h, a za 30 do 75 m na 60 km/h. Kada vidljivost padne ispod 30 m, auto-put se zatvara, a saobraćaj preusmerava na alternativni pravac.

Automatsko preusmeravanje je stoga eliminisalo potrebu za prisustvom radnika na putu, a samim tim smanjuju profesionalni rizici i skraćuje vreme potrebno za koordinaciju između različitih uključenih subjekata.

4.3 Smernice navedene u priručniku RABT 2006 – Nemačka

RABT 2006 (Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln) predstavlja zvanične nemačke smernice za opremanje i rad drumskih tunela, koje je izdalo Udruženje za istraživanje drumskog saobraćaja (FGSV) nakon teških tunelskih nezgoda u Evropi krajem prošlog veka. Ovaj tehnički dokument propisuje stroge bezbednosne standarde za drumske tunele duže od 400 metara, sa primarnim ciljem da se rizik od nastanka nezgoda svede na minimum. Poseban akcenat stavljen je na automatizovane sisteme za upravljanje saobraćajem, koji u realnom vremenu obrađuju podatke sa meteo-stanica i senzora za maglu, led, vetar ili koncentraciju štetnih gasova. Zbog svoje izuzetne preciznosti, visoke pouzdanosti i usklađenosti sa evropskom direktivom 2004/54/EC, RABT 2006 je prihvaćen kao zvanična inženjerska osnova za projektovanje i upravljanje pametnim autoputevima i tunelima u mnogim zemljama van Nemačke, uključujući i Republiku Srbiju. Na slici 8 prikazane su smernice sadržane u RABT 2006 u pogledu ograničenja brzine na prilazima i u samim tunelima u slučaju vremenskih neprilika.

Prema RABT-u u slučaju smanjene vidljivosti izazvane maglom brzina se postepeno smanjuje sa 100 km/h pri vidljivosti od 290–190 m, na 80 km/h za 190–120 m, zatim na 60 km/h za 120–70 m, dok se pri vidljivosti manjoj od 70 m ograničava na 40 km/h.

Pri pojavi jakog bočnog vetra ograničenje brzine zavisi od njegovog intenziteta i iznosi 100 km/h za brzine vetra od 12 do 14 m/s, 80 km/h za 14 do 18 m/s i 60 km/h za 18 do 22 m/s.

Tokom kišnih padavina brzina se ograničava na 100 km/h pri intenzitetu od 1 do 7 mm/h, 80 km/h za 8 do 15 mm/h, dok se pri intenzitetu većem od 15 mm/h smanjuje na 60 km/h radi smanjenja rizika od akvaplaninga.

U zimskim uslovima ograničenje brzine određuje se kombinacijom padavina i temperature kolovoza. Kada je temperatura kolovoza iznad 0 °C, brzina se ograničava na 80 km/h, dok se pri temperaturi 0 °C ili nižoj, zbog povećanog rizika od stvaranja leda, dodatno smanjuje na 60 km/h.

Parameters from RABT 2006
Visibility: <ul style="list-style-type: none"> ☐ From 290-190m => A sign - speed limit 100 km/h ☐ From 190-120m => A sign - speed limit 80 km/h ☐ From 120-70m => A sign - speed limit 60 km/h ☐ Less than 70m => A sign - speed limit 40 km/h <p>B sign should show Danger (TLS code 1) and C sign word "FOG" alternating with "SLOW SPEED".</p>
Side wind: <ul style="list-style-type: none"> ☐ 12-14m/s => A sign - speed limit 100 km/h ☐ 14-18m/s => A sign - speed limit 80 km/h ☐ 18-22m/s => A sign - speed limit 60 km/h <p>B sign should show Side wind (TLS code 14) and C sign word "Wind".</p>
Precipitation (rain): <ul style="list-style-type: none"> ☐ From 1 – 7mm/h => A sign - speed limit 100 km/h ☐ From 8 – 15mm/h => A sign - speed limit 80 km/h ☐ More than 15mm/h => A sign - speed limit 60 km/h <p>B sign should show sign Danger and the C sign word "Slippery road".</p>
Cold weather with snow or ice: <ul style="list-style-type: none"> ☐ Only rain or snow and lane temperature >0 => speed limit 80 km/h ☐ Rain or snow and lane temperature <0 => speed limit 60 km/h <p>B sign should show sign Danger and the C sign word "Slippery road".</p>

Slika 8: Pragovi za promenu ispisa na VMS-u u slučaju vremenskih neprilika prema RABT 2006 [6]

5 DISKUSIJA

U prethodnim poglavljima analizirani su različiti pristupi određivanju ograničenja brzine u zimskim uslovima odvijanja saobraćaja. U Republici Srbiji trenutno se istovremeno primenjuju dva međusobno neusaglašena režima upravljanja saobraćajem. Stalna zimska saobraćajna signalizacija, postavljena na osnovu Rešenja nadležnog Ministarstva, propisuje ograničenje brzine od 60 km/h u uslovima snega, leda i poledice, dok algoritmi upravljanja izmenjivom saobraćajnom signalizacijom za iste uslove prikazuju ograničenje od 40 km/h. U oba slučaja meteorološki uslovi predstavljaju osnov za aktiviranje odgovarajućeg režima, ali je ograničenje brzine unapred određeno i ne prilagođava se intenzitetu vremenske pojave, kombinaciji različitih nepovoljnih faktora, lokalnim karakteristikama deonice niti stvarnim uslovima odvijanja saobraćaja.

Na deonicama opremljenim ITS opremom, naročito u zoni tunela i na auto-putevima, ovakav pristup dovodi do istovremenog prikazivanja dva različita ograničenja brzine za iste uslove odvijanja saobraćaja. Da bi izbegli ovakvu situaciju, operateri u kontrolnim centrima često aktiviraju alternativne signalne planove koji nisu projektovani za konkretne vremenske uslove. Na ovaj način se privremeno obezbeđuje usklađenost između stalne i izmenjive saobraćajne signalizacije, ali se istovremeno ograničava mogućnost prilagođavanja ograničenja brzine stvarnim uslovima na deonici. Umesto da se ograničenje brzine određuje na osnovu konkretne kombinacije meteoroloških i saobraćajnih uslova, primenjuje se unapred definisana vrednost iz alternativnog signalnog plana, čime se smanjuje mogućnost dinamičkog i stepenastog prilagođavanja režima saobraćaja nivou rizika.

Analiza međunarodnih primera pokazuje bitno drugačiji pristup. I američke FHWA smernice i automatizovani sistem na auto-putu A-8 (Kraljevina Španija) zasnivaju određivanje ograničenja brzine na parametrima koji neposredno utiču na bezbednost saobraćaja, prvenstveno dužini vidljivosti i koeficijentu prijanjanja. Poređenjem ova dva sistema uočena je velika podudarnost kritičnih pragova, pri čemu se u uslovima izrazito male vidljivosti ograničenja brzine postepeno smanjuju, dok se u ekstremnim uslovima predviđa i privremena obustava saobraćaja.

Sličan pristup može se uočiti i u nemačkom standardu RABT 2006, koji za uslove snega i mogućeg stvaranja poledice preporučuje ograničenje brzine od 60 km/h, ali ne predviđa ograničenje od 40 km/h. Iako se RABT odnosi isključivo na tunele, njegove preporuke dodatno potvrđuju da ograničenja brzine treba određivati na osnovu procene stvarnog nivoa rizika, a ne primenom unapred definisanih i nepromenljivih scenarija.

Za kraj diskusije razmotren je model algoritma iz relacije (3), koji ograničenje brzine određuje na osnovu više ulaznih parametara, poput dužine vidljivosti, koeficijenta prijanjanja i karakteristika posmatrane deonice. Preporučene brzine za različite kombinacije ulaznih parametara prikazane su u tabeli 1.

Rezultati pokazuju da je osnovna prednost algoritma njegova mogućnost prilagođavanja lokalnim uslovima, jer omogućava kalibraciju u odnosu na uzdužni nagib, stanje kolovoza i ostvarivi koeficijent prijanjanja, kao i preglednost puta koja određuje raspoloživu dužinu vidljivosti.

Za povoljnije kombinacije vidljivosti i koeficijenta prijanjanja preporučuju se veća ograničenja brzine, dok se sa pogoršanjem uslova uvodi postepeno smanjenje na 80 km/h, a zatim na 60 km/h. U uslovima izrazito male vidljivosti i niskog koeficijenta prijanjanja, naročito kada su oba faktora istovremeno nepovoljna, algoritam ukazuje da bi, umesto daljeg smanjenja brzine, trebalo razmotriti privremenu obustavu saobraćaja i njegovo preusmeravanje na alternativne pravce do normalizacije vremenskih prilika.

Posebnu grupu predstavljaju polja bordo boje u tabeli 1, za koja algoritam preporučuje ograničenje brzine od 40 km/h. Ove vrednosti nalaze se na granici između drugog nivoa upozorenja i potpune obustave saobraćaja, zbog čega upravljač puta treba da definiše da li će ih tretirati kao drugi nivo upozorenja, uvesti treći nivo sa ograničenjem od 40 km/h ili u tim uslovima predvideti obustavu saobraćaja. Uvođenje trećeg nivoa upozorenja zahtevalo bi jasno definisanu hijerarhijsku prednost izmenjive nad stalnom zimskom saobraćajnom signalizacijom, čime bi se omogućilo dinamičko prikazivanje ograničenja brzine zasnovanih na stvarnim uslovima na putu.

Zanimljivo je da je algoritam iz relacije (3) u uslovima suvog kolovoza u potpunosti usklađen sa značenjem saobraćajnih znakova III-89, III-89.1 i III-89.2.

U uslovima kiše, naročito pri intenzivnim padavinama, opravdanije je ograničenje brzine određivati na osnovu izmerenog koeficijenta prijanjanja i dužine vidljivosti, nego isključivo prema intenzitetu padavina ili visini vodenog sloja, budući da savremene meteorološke stanice raspolažu podacima o oba parametra.

Za snežne padavine, pri koeficijentu prijanjanja od 0,2–0,3, algoritam ukazuje da bi ograničenje od 80 km/h bilo odgovarajuće pri vidljivosti većoj od 150 m, dok bi se pri vidljivosti od 70 do 150 m primenjivalo ograničenje od 60 km/h. Kada vidljivost padne ispod 70 m, zbog istovremenog dejstva nepovoljnih faktora, trebalo bi razmotriti privremenu obustavu saobraćaja.

U slučaju poledice i leda preporučeno ograničenje od 60 km/h ostaje opravdano dok je vidljivost veća od 130 m, dok bi pri daljem smanjenju vidljivosti trebalo razmotriti obustavu saobraćaja.

Tabela 1: Rezultati preporučene brzine primenom relacije (3) za različite vrednosti dužine vidljivosti i koeficijenta prijanjanja, dok je podužni nagib konstanta (0.00)

$i=0\%(0,00)$	koeficijent prijanjanja μ								
$S_{vid} [m]$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
10	0	10	10	10	10	10	10	10	10
20	10	10	20	20	20	20	20	20	20
30	20	20	20	30	30	30	30	30	30
40	20	30	30	30	30	40	40	40	40
50	20	30	40	40	40	40	50	50	50
60	30	40	40	50	50	50	50	60	60
70	30	40	50	50	60	60	60	60	60
80	30	40	50	60	60	60	70	70	70
90	30	50	60	60	70	70	70	80	80
100	40	50	60	70	70	80	80	80	90
110	40	50	60	70	80	80	90	90	90
120	40	60	70	80	80	90	90	100	100
130	40	60	70	80	90	90	100	100	110
140	50	60	80	80	90	100	100	110	110
150	50	70	80	90	100	100	110	110	120
160	50	70	80	90	100	110	110	120	120
170	50	70	90	100	100	110	120	120	130
180	50	70	90	100	110	120	120	130	130
190	60	80	90	100	110	120	130	130	130
200	60	80	90	110	120	120	130	130	130
250	70	90	110	120	130	130	130	130	130
300	70	100	120	130	130	130	130	130	130
350	80	110	130	130	130	130	130	130	130
400	90	120	130	130	130	130	130	130	130

Navedene pragove treba posmatrati kao ilustraciju primene algoritma, a ne kao univerzalne vrednosti. Budući da je u tabeli 1 pretpostavljen uzdužni nagib od 0%, za svaku konkretnu deonicu neophodno je izvršiti kalibraciju modela u skladu sa geometrijskim karakteristikama puta, kvalitetom kolovoznog zastora i stvarnim uslovima preglednosti i vidljivosti.

Trenutni sistem reagovanja u uslovima težih vremenskih neprilika zasniva se na jedinstvenom ograničenju brzine od 60 km/h, pri čemu se odgovornost za prilagođavanje vožnje u najvećoj meri prenosi na vozače. Takav pristup ne uzima u obzir razlike u njihovom ponašanju, zbog čega dolazi do povećanja varijanse brzina. Dok će jedan deo vozača voziti u skladu sa ograničenjem ili sporije, drugi će brzinu smanjiti samo delimično, a pojedini vozači neće značajnije korigovati način vožnje. Posledica je istovremeno kretanje vozila sa znatno različitim brzinama, čime se, naročito u uslovima smanjene vidljivosti, povećava rizik od saobraćajnih nezgoda, pre svega sudara u sustizanju.

Upravo zbog toga smernice američke FHWA preporučuju sprovođenje studija brzina u nepovoljnim vremenskim uslovima. Ukoliko se utvrdi značajno odstupanje između stvarnih brzina vozila i brzina koje preporučuje algoritam, potrebno je uvesti stepenastu korekciju ograničenja brzine. Na taj način sistem se prilagođava stvarnim uslovima na putu i ponašanju vozača, čime se dodatno potvrđuje fleksibilnost predloženog modela.

6 ZAKLJUČAK

Sprovedeno istraživanje pokazalo je da u zimskim uslovima odvijanja saobraćaja na državnim putevima Republike Srbije postoji sistemska neusklađenost između stalne i izmenjive saobraćajne signalizacije. Istovremena primena stalnog ograničenja brzine od 60 km/h i automatskog prikazivanja ograničenja od 40 km/h na VMS portalima za iste uslove dovodi do neujednačenog vođenja saobraćaja, stvara nedoumice kod vozača i primorava operatore na ručne intervencije u radu sistema.

Analiza međunarodne prakse pokazala je da savremeni sistemi upravljanja saobraćajem ograničenja brzine određuju na osnovu podataka o vidljivosti, koeficijentu prljanja i drugim parametrima koji direktno utiču na bezbednost saobraćaja. Takav pristup omogućava postepeno prilagođavanje ograničenja brzine stvarnim uslovima na putu, uz mogućnost privremene obustave saobraćaja u ekstremnim situacijama.

Predloženi model zasnovan na algoritmu iz relacije (3) omogućava kalibraciju za svaku pojedinačnu deonicu uz uvažavanje geometrijskih karakteristika puta, stanja kolovoza i lokalnih meteoroloških uslova. Na taj način ograničenja brzine mogu biti zasnovana na objektivnim podacima, umesto na unapred definisanim scenarijima koji ne odražavaju stvarni nivo rizika.

Rezultati istraživanja ukazuju da je za unapređenje postojećeg sistema potrebno sprovesti studiju brzina u zimskim uslovima, redefinisati signalne planove i uspostaviti hijerarhijsku prednost izmenjive u odnosu na stalnu saobraćajnu signalizaciju. Time bi se omogućilo dinamičko upravljanje ograničenjima brzine, smanjila potreba za intervencijama operatera i unapredila bezbednost i ujednačenost odvijanja saobraćaja na državnim putevima Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima, „Službeni glasnik RS“, br 41 od 2. juna 2009, sa poslednjom izmenom br 19 od 6. marta 2025.

- [2] Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji, "Službeni glasnik RS", br. 85 od 21. septembra 2017, 14 od 17. februara 2021, 21 od 15. marta 2024.
- [3] Plan zimskog održavanja državnih puteva I i II reda 2025/2026, Putevi Srbije d.o.o, oktobar 2025 u Beogradu
- [4] Guidelines for the Design of Wet Weather Variable Speed Limit Systems, Federal Highway Administration, Washington USA
- [5] A. Blanco Bergareche et al., oktobar 2023, Road management system in adverse weather conditions: fog and wind, XXVII Road world congress, Praga, Czech Republic
- [6] Regulations for the equipment and operation of road tunnels, Federal Ministry for Traffic, Building and Urban Affairs, April 2006, Bonn, Germany

SUMMARY

Compliance of Permanent and Variable Traffic Signage under Winter Traffic Conditions on State Roads

Abstract: During winter road maintenance, operators in control centers face a systemic problem of inconsistency between variable message signs (VMS) on gantries and permanently installed traffic signs. According to the current Decision of the Ministry, speed is restricted to 60 km/h on first-priority roads during snowfall, which is signaled on the ground by installed II-30 (60) and IV-7.1 signs. However, currently implemented automatic signal plans on open sections for "Inclement weather – snow 2" and "Inclement weather – black ice" scenarios generate a more restrictive speed limit of 40 km/h. This inconsistency creates discontinuous traffic guidance and misleads drivers regarding the actual and legal speed limit.

To overcome this conflict in signage, operators apply informal procedures in practice and manually activate alternative scenarios that display the legal speed limit of 60 km/h. However, this improvisation compromises the accuracy of textual information on the gantries, as it generates generic messages about a slippery road instead of specific warnings for snow or ice. Consequently, operators are forced to subsequently adjust the textual content on the signs manually to provide drivers with accurate data on road conditions.

This practice highlights an urgent need to find an optimal, common solution that would harmonize permanent and variable traffic signage under winter conditions. The goal is to achieve mutual synergy between both systems. Defining coordinated protocols and harmonizing installed signs with VMS algorithms would eliminate the need for operator improvisation. This would ensure uniform and logical information for road users, directly increasing traffic safety and efficiency.

Key words: winter road maintenance, traffic scenarios, speed limit, signage harmonization, traffic management

Od transportnog modela do digitalnog blizanca: metodološki okvir postepene transformacije sistema upravljanja saobraćajem

Stamenka Stanković, Saobraćajni fakultet, Beograd, s.stankovic@sf.bg.ac.rs

Nikola Čelar, Saobraćajni fakultet, Beograd, n.celar@sf.bg.ac.rs

Jelena Kajalić, Saobraćajni fakultet, Beograd, j.kajalic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Koncept digitalnog blizanca poslednjih godina postaje jedan od ključnih pravaca razvoja inteligentnih transportnih sistema, omogućavajući kontinuirano praćenje stanja saobraćajnog sistema, analizu podataka u realnom vremenu i podršku donošenju operativnih odluka. Istovremeno, brojni gradovi već raspolažu transportnim modelima, a u pojedinim slučajevima i razvijenim sistemima upravljanja saobraćajem, uključujući adaptibilne sisteme upravljanja i druge ITS podsisteme. Iako se u literaturi intenzivno razmatraju arhitektura, tehnologije i primena digitalnih blizanaca, nedostaje metodološki okvir koji bi definisao postepeni razvoj postojećih sistema upravljanja saobraćajem ka digitalnom blizancu.

Cilj ovog rada je da predloži metodološki okvir koji polazi od transportnog modela kao osnovne komponente sistema upravljanja saobraćajem i definiše put njegove postepene evolucije ka digitalnom blizancu kroz integraciju različitih funkcionalnih komponenti, odnosno raspoloživih ITS podsistema. Predloženi okvir definiše razvojne faze koje prethode uspostavljanju operativnog digitalnog blizanca i predstavlja vezu između tradicionalnog transportnog modelovanja i daljeg razvoja digitalnih blizanaca kroz postojeće modele zrelosti. Na ovaj način se obezbeđuje praktična osnova za planiranje digitalne transformacije gradova različitog nivoa razvijenosti.

Ključne reči: transportni model, digitalni blizanač, ITS, upravljanje saobraćajem.

1 UVOD

Savremeni sistemi upravljanja saobraćajem prolaze kroz intenzivnu digitalnu transformaciju uslovljenu razvojem inteligentnih transportnih sistema (ITS), Interneta stvari (IoT), velikih podataka (Big Data) i veštačke inteligencije. Razvoj ovih tehnologija omogućio je kontinuirano prikupljanje i obradu podataka o stanju saobraćajnog sistema u realnom vremenu, stvarajući uslove za prelazak sa tradicionalnog pristupa planiranju i upravljanju ka sistemima zasnovanim na podacima i naprednoj analitici.

Paralelno sa razvojem novih tehnologija, brojni gradovi danas raspolažu različitim funkcionalnim komponentama sistema planiranja i upravljanja saobraćajem, uključujući transportne modele, adaptibilne sisteme upravljanja svetlosnom signalizacijom i druge ITS podsisteme. Međutim, ove komponente su najčešće razvijane nezavisno i sa ograničenim nivoom međusobne integracije.

Koncept digitalnog blizanca predstavlja jedan od najznačajnijih pravaca daljeg razvoja sistema upravljanja saobraćajem. Za razliku od tradicionalnih transportnih modela, digitalni blizanač omogućava kontinuiranu sinhronizaciju digitalnog i fizičkog sistema,

objedinjavanje podataka iz različitih izvora, analizu stanja u realnom vremenu, simulaciju različitih scenarija i podršku donošenju operativnih odluka. Zbog navedenih karakteristika, digitalni blizanci se sve češće prepoznaju kao ključna tehnologija budućih sistema upravljanja saobraćajem [1].

Dosadašnja istraživanja uglavnom su usmerena na razvoj arhitekture digitalnih blizanaca, tehnologija koje omogućavaju njihovu implementaciju ili prikaz pojedinačnih studija slučaja [2], [3]. Istovremeno, znatno manje pažnje posvećeno je procesu kojim se postojeći sistemi upravljanja saobraćajem postepeno razvijaju ka digitalnom blizancu. U literaturi nije identifikovan jedinstven metodološki okvir koji bi definisao kako gradovi, polazeći od postojećih transportnih modela i raspoloživih ITS komponenti, mogu planirati ovu transformaciju.

Cilj ovog rada je da predloži metodološki okvir postepene transformacije sistema upravljanja saobraćajem od transportnog modela ka digitalnom blizancu. Predloženi okvir definiše razvojne faze zasnovane na integraciji raspoloživih funkcionalnih komponenti sistema upravljanja saobraćajem i uspostavlja vezu između tradicionalnog transportnog modelovanja i postojećih modela zrelosti digitalnih blizanaca.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 *Razvoj koncepta digitalnog blizanca u transportu*

Koncept digitalnog blizanca razvijen je kao digitalna reprezentacija fizičkog sistema koja omogućava kontinuiranu razmenu podataka između fizičkog i virtuelnog okruženja tokom celog životnog ciklusa sistema. Iako je prvobitno razvijen za potrebe industrijske proizvodnje, poslednjih godina njegova primena se intenzivno proširila i na oblast inteligentnih transportnih sistema. Rudskoy i saradnici [4] među prvim ukazuju da digitalni blizanc predstavlja prirodnu evoluciju postojećih sistema upravljanja saobraćajem, omogućavajući objedinjavanje različitih ITS servisa u jedinstvenu digitalnu platformu.

Ge i Qin [2] digitalni blizanc posmatraju kao novu razvojnu fazu inteligentnih transportnih sistema (DT-ITS). Njihov pregled obuhvata referentne arhitekture, komunikacione tehnologije kao i potencijalne ITS usluge koje mogu biti podržane primenom digitalnih blizanaca. Autori zaključuju da razvoj digitalnog blizanca zahteva visok nivo interoperabilnosti između različitih podsistema, pouzdanu razmenu podataka u realnom vremenu i primenu naprednih analitičkih metoda.

Najobuhvatniji pregled primene digitalnih blizanaca u saobraćaju dali su Nag i saradnici [3], analizirajući više od sto naučnih radova objavljenih u periodu od 2000. do 2024. godine. Rezultati njihovog istraživanja pokazuju da najveći broj radova obrađuje arhitekturu sistema, razvoj tehnoloških platformi i pojedinačne studije slučaja, dok je znatno manje pažnje posvećeno metodologijama njihove implementacije u postojećim sistemima upravljanja saobraćajem.

2.2 *Primena digitalnih blizanaca u upravljanju saobraćajem*

Razvojem komunikacionih tehnologija i sistema za prikupljanje podataka u realnom vremenu stvoreni su uslovi za prve praktične implementacije digitalnih blizanaca u upravljanju saobraćajem. Kušić i saradnici [5] razvili su digitalni blizanc deonice autoputa korišćenjem mikrosimulacionog modela SUMO i podataka sa automatskih brojača

saobraćaja. Predloženi pristup omogućava kontinuiranu kalibraciju simulacionog modela u realnom vremenu i predstavlja osnovu za razvoj prediktivnih scenarija u upravljanju saobraćajem.

Sličan pristup prikazali su Llagostera-Brugarola i saradnici [6], koji su razvili digitalni blizanac međugradskog autoputa zasnovan na podacima prikupljenim putem V2X komunikacija i putne infrastrukture. Njihov sistem omogućava testiranje različitih strategija upravljanja, uključujući sistem dinamičkog ograničenja brzine, upravljanje incidentima i dinamičko rutiranje. Akcenat rada je na funkcionalnostima razvijenog digitalnog blizanca, a ne na procesu njegove evolucije iz postojećeg sistema upravljanja saobraćajem.

Primena digitalnih blizanaca na nivou raskrsnica analizirana je u radu Afshari i saradnika [7], koji integrišu LiDAR senzore i mikrosimulacioni model VISSIM radi automatske kalibracije modela i kontinuiranog praćenja rada signalisanih raskrsnica. Autori pokazuju da ovakav pristup omogućava preciznije procene pokazatelja efikasnosti saobraćaja i unapređuje podršku operaterima u upravljačkim centrima. Iako autori potvrđuju potencijal digitalnih blizanaca za upravljanje raskrsnicama, njihov pristup polazi od unapred definisane arhitekture sistema.

Pregled mogućnosti primene digitalnih blizanaca u upravljanju transportnom infrastrukturom dali su Wu i saradnici [8] i Gao i saradnici [9], koji ukazuju da digitalni blizanci predstavljaju osnovu za planove održavanja, upravljanje infrastrukturom i podršku donošenju odluka zasnovanih na podacima u realnom vremenu.

Prikazane studije potvrđuju da su digitalni blizanci već našli primenu u različitim segmentima upravljanja saobraćajem. Međutim, zajednička karakteristika većine ovih istraživanja jeste da se fokusiraju na razvoj ili primenu konkretnih rešenja, dok pitanje njihove postepene izgradnje iz postojećih sistema upravljanja saobraćajem ostaje nedovoljno razmotreno.

2.3 Ograničenja postojećih istraživanja

Analiza dostupne literature pokazuje da se postojeća istraživanja mogu svrstati u tri dominantna pravca istraživanja:

- razvoj referentnih arhitektura digitalnih blizanaca;
- razvoj tehnologija koje omogućavaju njihovu implementaciju;
- razvoj i analiza pojedinačnih studija slučaja.

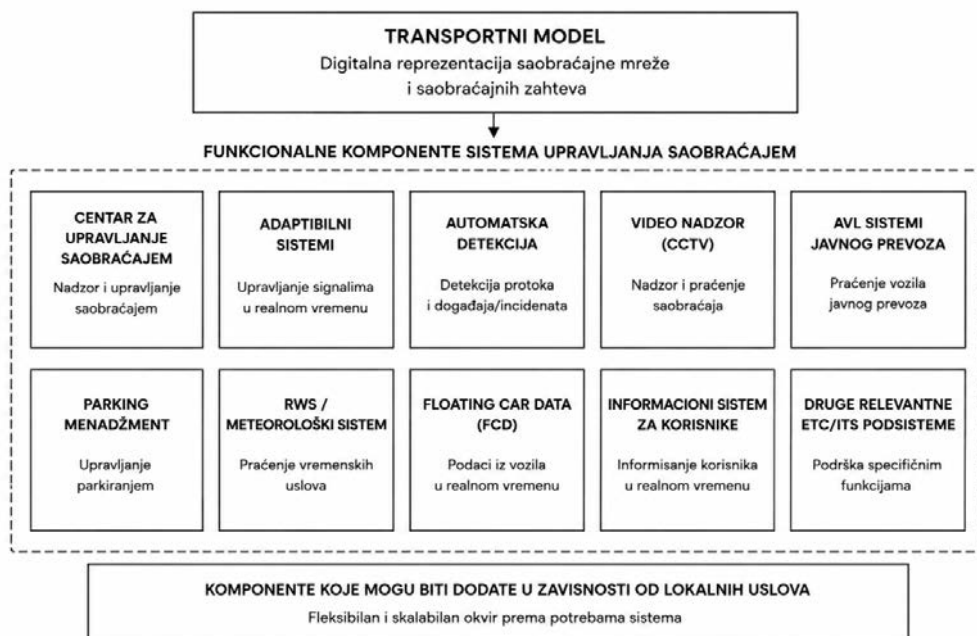
Analizirana istraživanja uglavnom polaze od pretpostavke da su ključne komponente digitalnog blizanca već razvijene ili se fokusiraju na implementaciju pojedinačnih funkcionalnosti u unapred definisanim uslovima. Zbog toga u dostupnoj literaturi nije identifikovan metodološki okvir koji bi definisao postepenu transformaciju postojećih sistema upravljanja saobraćajem u digitalni blizanac. Upravo ovaj nedostatak predstavlja polaznu osnovu za metodološki okvir predložen u ovom radu.

3 POLAZNE PRETPOSTAVKE ZA RAZVOJ DIGITALNOG BLIZANCA

Razvoj digitalnog blizanca sistema upravljanja saobraćajem predstavlja postepen proces koji zavisi od postojećih karakteristika sistema kojim se upravlja. Iako se digitalni blizanci danas razvijaju za različite elemente transportne infrastrukture i sisteme upravljanja saobraćajem, u ovom radu fokus je usmeren na urbane sisteme, odnosno

gradove, u kojima početni uslovi značajno variraju u pogledu razvijenosti transportnih modela, sistema upravljanja saobraćajem i ITS podsistema. Posledično, nije moguće definisati jedinstven put razvoja primenljiv na sve gradove.

Polazeći od postojećeg stanja, može se zaključiti da većina gradova raspolaže određenim skupom funkcionalnih komponenti sistema upravljanja saobraćajem koje predstavljaju osnovu za dalju digitalnu transformaciju. Njihov broj, funkcionalnosti i međusobna povezanost razlikuju se od grada do grada, ali zajedno predstavljaju početni nivo razvoja na kome se može graditi digitalni blizanac. U ovom radu pod funkcionalnim komponentama sistema upravljanja saobraćajem podrazumevaju se svi podsistemi koji učestvuju u prikupljanju, obradi, razmeni ili korišćenju podataka neophodnih za upravljanje saobraćajem. Njihova uloga u razvoju digitalnog blizanca nije identična, niti je neophodno da budu prisutni u svakom gradu. Naprotiv, predloženi metodološki okvir polazi od pretpostavke da se razvoj digitalnog blizanca zasniva na postepenoj integraciji raspoloživih funkcionalnih komponenti.



Slika 1: Funkcionalne komponente sistema upravljanja saobraćajem kao polazna osnova za razvoj digitalnog blizanca

Transportni model predstavlja polaznu funkcionalnu komponentu ovog procesa. On obezbeđuje digitalnu reprezentaciju saobraćajne mreže, geometriju, karakteristike transportnih zahteva, i drugih parametara neophodnih za analizu funkcionisanja sistema. Međutim, tradicionalni transportni modeli prvenstveno su namenjeni planiranju i analizi unapred definisanih scenarija i u najvećoj meri koriste periodično prikupljene podatke, zbog čega sami po sebi ne mogu ostvariti funkcionalnosti digitalnog blizanca.

Pored transportnog modela, u pojedinim gradovima razvijene su i druge funkcionalne komponente sistema upravljanja saobraćajem. To mogu biti sistemi adaptibilnog

upravljanja svetlosnom signalizacijom, sistemi za automatsko prikupljanje podataka, video nadzor, sistemi za upravljanje parkiranjem, sistemi za praćenje javnog prevoza, meteorološki i drugi ITS podsistemi. Njihova zajednička karakteristika jeste da obezbeđuju podatke ili funkcionalnosti koje mogu predstavljati osnovu razvoju digitalnog blizanca, ali su u postojećoj praksi često razvijani nezavisno i sa ograničenim nivoom međusobne integracije.

Funkcionalne komponente predstavljaju osnovne gradivne elemente predloženog metodološkog okvira, jer njihov stepen razvijenosti i međusobne integracije određuje početne uslove za razvoj digitalnog blizanca.

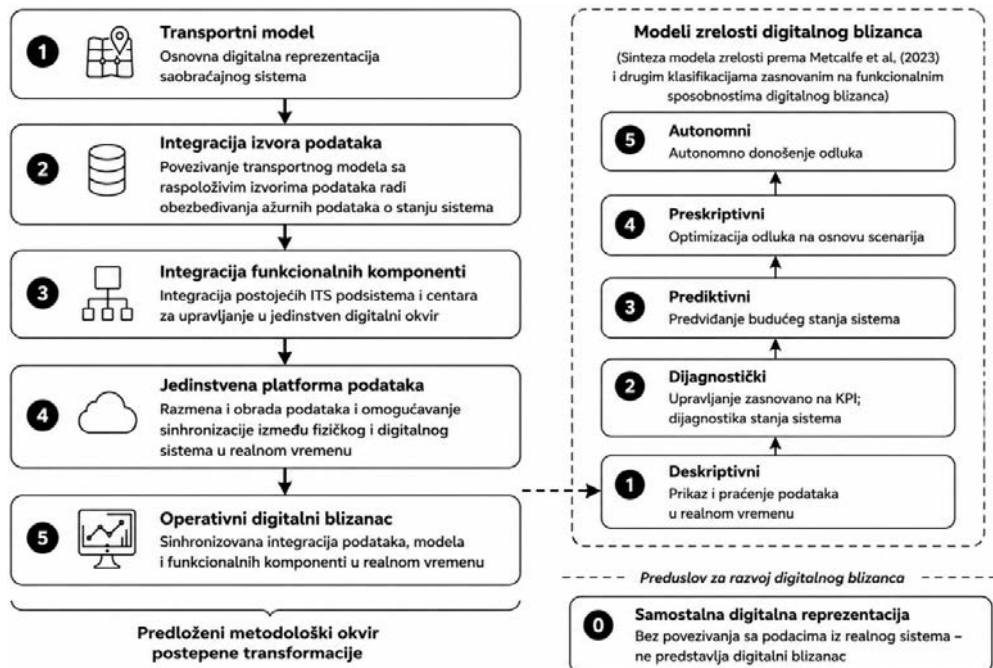
4 METODOLOŠKI OKVIR POSTEPENE TRANSFORMACIJE

Predloženi metodološki okvir zasniva se na pretpostavci da razvoj digitalnog blizanca predstavlja evolutivni proces u kome se postojeće funkcionalne komponente sistema upravljanja saobraćajem postepeno integrišu u jedinstvenu digitalnu celinu. U skladu sa tim, okvir je organizovan kroz pet međusobno povezanih razvojnih faza (Slika 2):

- Prva faza podrazumeva uspostavljanje transportnog modela kao osnovne digitalne reprezentacije sistema. Ova faza obezbeđuje prostornu i funkcionalnu osnovu na koju se u narednim fazama integrišu podaci i funkcionalne komponente sistema upravljanja saobraćajem.
- U drugoj fazi transportni model povezuje se sa raspoloživim izvorima podataka radi obezbeđivanja ažurnih podataka o stanju sistema. Cilj ove faze nije potpuna sinhronizacija realnog i virtuelnog sistema, već unapređenje transportnog modela korišćenjem raspoloživih izvora podataka.
- Treća faza podrazumeva integraciju funkcionalnih komponenti sistema upravljanja saobraćajem, uključujući centre za upravljanje, adaptibilne sisteme upravljanja signalizacijom i druge raspoložive ITS podsisteme. Ova faza, pored objedinjavanja različitih izvora podataka, uključuje i različite upravljačke funkcionalnosti koje su prethodno razvijane nezavisno.
- U četvrtoj fazi uspostavlja se jedinstvena platforma za razmenu i obradu podataka, čime se omogućava sinhronizacija između fizičkog i digitalnog sistema u realnom vremenu. Uspostavljanjem jedinstvene platforme omogućava se interoperabilnost svih komponenti i kontinuirana razmena podataka između fizičkog i digitalnog sistema.
- U petoj fazi uspostavlja se operativni digitalni blizanc kao jedinstvena digitalna reprezentacija sistema upravljanja saobraćajem, zasnovana na kontinuiranoj sinhronizaciji transportnog modela, funkcionalnih komponenti i podataka iz realnog sistema. Takav sistem predstavlja osnovu za naprednu analitiku, simulaciju scenarija i podršku donošenju operativnih odluka u realnom vremenu.

Predloženi metodološki okvir ne podrazumeva strogo linearnu implementaciju niti jedinstven redosled integracije funkcionalnih komponenti sistema upravljanja saobraćajem. Obim i redosled njihove integracije prilagođavaju se postojećem nivou razvijenosti sistema, pri čemu je zajednički cilj svih razvojnih puteva uspostavljanje operativnog digitalnog blizanca. Na taj način metodološki okvir omogućava njegovu

primenu u gradovima koji raspolažu različitim skupom funkcionalnih komponenti i različitim nivoom razvijenosti sistema upravljanja saobraćajem.



Slika 2: Predloženi metodološki okvir postepene transformacije sistema upravljanja saobraćajem i njegov odnos prema modelima zrelosti

Nakon uspostavljanja operativnog digitalnog blizanca, njegov dalji razvoj može se posmatrati kroz postojeće modele zrelosti digitalnih blizanaca, koji opisuju unapređenje funkcionalnosti od osnovne digitalne reprezentacije sistema do autonomnog donošenja odluka [3]. U tom smislu, predloženi metodološki okvir ne predstavlja model zrelosti digitalnog blizanca, već definiše razvojne faze koje prethode primeni postojećih modela zrelosti i uspostavlja vezu između tradicionalnog transportnog modelovanja postojećih sistema upravljanja saobraćajem i modela zrelosti digitalnih blizanaca. Na taj način metodološki okvir i modeli zrelosti predstavljaju međusobno komplementarne, a ne alternativne pristupe razvoju digitalnog blizanca.

U većini postojećih modela zrelosti nivo 0 predstavlja samostalnu digitalnu reprezentaciju sistema bez povratne sprege sa realnim sistemom. U ovom radu takva reprezentacija ne smatra se digitalnim blizancem, već polaznom osnovom za njegov razvoj. Iz tog razloga predloženi metodološki okvir prethodi modelima zrelosti i završava se uspostavljanjem operativnog digitalnog blizanca, nakon čega je moguće primeniti postojeće modele zrelosti.

5 ZAKLJUČAK

Digitalni blizanci predstavljaju jedan od najznačajnijih pravaca razvoja sistema upravljanja saobraćajem. Analiza dostupne literature pokazuje da su dosadašnja

istraživanja pretežno usmerena na razvoj arhitektura, tehnologija i pojedinačnih studija slučaja, dok je znatno manje pažnje posvećeno metodološkom pristupu koji bi definisao postepenu transformaciju sistema upravljanja saobraćajem ka digitalnom blizancu.

U radu je predložen metodološki okvir koji polazi od transportnog modela kao osnovne digitalne reprezentacije saobraćajnog sistema i zasniva se na postepenoj integraciji raspoloživih funkcionalnih komponenti sistema upravljanja saobraćajem. Predloženi okvir definiše pet razvojnih faza koje omogućavaju postepeni prelaz od postojećeg sistema upravljanja saobraćajem do operativnog digitalnog blizanca, pri čemu se razvoj prilagođava postojećem nivou razvijenosti sistema i raspoloživim funkcionalnim komponentama.

Poseban doprinos rada ogleda se u uvođenju funkcionalnih komponenti sistema upravljanja saobraćajem kao osnovnih gradivnih elemenata metodološkog okvira i u razdvajanju metodološkog procesa razvoja digitalnog blizanca od njegovih modela zrelosti. Za razliku od postojećih modela zrelosti, koji polaze od već uspostavljenog operativnog digitalnog blizanca, predloženi metodološki okvir definiše razvojne faze koje prethode njegovom uspostavljanju i time predstavlja vezu između tradicionalnog transportnog modelovanja i daljeg razvoja digitalnih blizanaca. Istovremeno, pokazano je da prisustvo većeg broja ITS podsistema ili funkcionalnih komponenti sistema upravljanja saobraćajem ne podrazumeva automatski postojanje digitalnog blizanca. Digitalni blizanac nastaje tek njihovom funkcionalnom integracijom u jedinstven sistem zasnovan na kontinuiranoj sinhronizaciji sa realnim sistemom.

Predloženi metodološki okvir predstavlja konceptualnu osnovu za buduća istraživanja usmerena na njegovu primenu i validaciju u realnim sistemima upravljanja saobraćajem. Dalja istraživanja trebalo bi usmeriti na definisanje kriterijuma za procenu spremnosti sistema za razvoj digitalnog blizanca, razvoj kvantitativnih pokazatelja kojima bi se vrednovao napredak kroz pojedine faze transformacije, kao i primenu metodološkog okvira u gradovima različitog nivoa razvijenosti.

LITERATURA

- [1] FHWA, "Developing Future Traffic Management Systems Using Hybrid Twins," Washington, DC, 2022.
- [2] C. Ge and S. Qin, "Digital twin intelligent transportation system (DT-ITS)— A systematic review," *IET Intell. Transp. Syst.*, pp. 2325–2358, 2024, doi: 10.1049/itr2.12539.
- [3] D. Nag, F. Brandel-Tanis, Z. A. Pramestri, K. Pitera, and Y. K. Frøyen, "Exploring digital twins for transport planning: a review," *Eur. Transp. Res. Rev.*, vol. 17, 2025, doi: 10.1186/s12544-025-00713-0.
- [4] A. Rudskoy, I. Ilin, and A. Prokhorov, "Digital Twins in the Intelligent Transport Systems," *Transp. Res. Procedia*, vol. 54, no. 2021, pp. 927–935, 2021, doi: 10.1016/j.trpro.2021.02.152.
- [5] K. Kušić, R. Schumann, and E. Ivanjko, "A digital twin in transportation: Real-time synergy of traffic data streams and simulation for virtualizing motorway dynamics," *Adv. Eng. Informatics*, vol. 55, 2023, doi: 10.1016/j.aei.2022.101858.
- [6] E. Llagostera-Brugarola, E. Corpas-Marco, C. Victorio-Vergel, E. Lopez-Aguilera, F. Vázquez-Gallego, and J. Alonso-Zarate, "A Digital Twin for Intelligent Transportation Systems in Interurban Scenarios," *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 13, pp. 1–27, 2025, doi: 10.3390/app15137454.

- [7] A. Afshari, J. Lee, and D. Besenski, "A Digital Twin Platform for Real-Time Intersection Traffic Monitoring, Performance Evaluation, and Calibration," *Infrastructures*, vol. 10, 2025, doi: 10.3390/infrastructures10080204.
- [8] D. Wu et al., "Digital Twin Technology in Transportation Infrastructure: A Comprehensive Survey of Current Applications, Challenges, and Future Directions," *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 4, 2025, doi: 10.3390/app15041911.
- [9] C. Gao, L. Jia, M. Sun, and J. Luo, "Current Status and Future Prospects of Digital Twin Technology Applications in Intelligent Transportation Infrastructure Management," *IET Intell. Transp. Syst.*, pp. 1–22, 2025, doi: 10.1049/itr2.70011.

SUMMARY

From Transport Models to Digital Twins: A Methodological Framework for the Gradual Transformation of Traffic Management Systems

Abstract: The concept of the digital twin has emerged as one of the key directions in the development of Intelligent Transportation Systems (ITS), enabling continuous monitoring of traffic system conditions, real-time data analysis, and support for operational decision-making. At the same time, many cities already possess transport models of varying levels of maturity and, in some cases, advanced traffic management systems, including adaptive traffic control systems and other ITS subsystems. Although existing research extensively addresses digital twin architectures, enabling technologies, and practical applications, there is still a lack of a methodological framework defining the gradual transformation of existing traffic management systems into digital twins.

The aim of this paper is to propose a methodological framework that considers the transport model as the fundamental component of a traffic management system and defines its gradual evolution into a digital twin through the integration of various functional components, i.e., available ITS subsystems. The proposed framework identifies the development stages that precede the establishment of an operational digital twin and establishes a link between traditional transport modeling and the further evolution of digital twins through existing maturity models. In this way, it provides a practical basis for planning the digital transformation of cities with different levels of traffic management system development.

Keywords: transport model; digital twin; intelligent transportation systems; traffic management.

Plenarna sesija 2

***SAOBRAĆAJNO PROJEKTOVANJE
u ogledalu sadašnjosti***

Procedure, standardi i praksa projektovanja i održavanja saobraćajne signalizacije – komparativna analiza Srbije i Švedske

Aleksandra Krstić, Saobraćajni fakultet, Beograd, akikrstic00@gmail.com

Rezime: Saobraćajna signalizacija predstavlja jedan od ključnih elemenata saobraćajnog sistema, čija pravilna primena i održavanje imaju značajan uticaj na njegovo funkcionisanje. Iako su standardi i procedure kojima se uređuje njeno projektovanje, postavljanje i održavanje definisani kroz odgovarajuće regulatorne okvire, način njihove primene i stepen doslednosti njihovog sprovođenja značajno se razlikuje među državama. Imajući to u vidu, ovaj rad se bavi analizom i poređenjem praksi projektovanja i održavanja saobraćajne signalizacije u Srbiji (Beogradu) i Švedskoj (Stokholmu), sa ciljem sagledavanja sistematičnosti i doslednosti primene standarda i procedura kojima se utiče na kvalitet i funkcionisanje saobraćajnog sistema. Oslanjajući se na komparativan pristup, ovo istraživanje je zasnovano na kvalitativnoj ekspertskoj proceni devet kriterijuma uključujući zakonske okvire, tehničke standarde i primenu savremenih tehnologija. Rezultati analize ukazuju da švedski sistem pokazuje viši stepen razvijenosti u aspektima koji mogu doprineti bezbednijem i pouzdanijem funkcionisanju signalizacije, dostupnosti informacija u realnom vremenu, kao i boljoj prilagođenosti potrebama različitih grupa korisnika. Pored navedenog, uočene su i značajne razlike u efikasnosti upravljanja, kontroli kvaliteta i dugoročnoj ekonomskoj održivosti sistema. Na osnovu sprovedene analize, definisane su preporuke za unapređenje domaće prakse, koje uključuju prelazak sa reaktivnog na proaktivno održavanje, intenzivniju digitalizaciju procesa upravljanja signalizacijom, unapređenje mehanizama kontrole kvaliteta i jačanje institucionalnih kapaciteta za sprovođenje i nadzor propisanih standarda. Time se obezbeđuje osnova za unapređenje postojećih praksi upravljanja saobraćajnom signalizacijom i donošenje efikasnijih politika u oblasti njenog projektovanja i održavanja.

Ključne reči: saobraćajna signalizacija, tehnički standardi, regulatorni okvir, komparativna analiza, preporuke za unapređenje

1 UVOD

Saobraćajna signalizacija predstavlja jedan od osnovnih elemenata saobraćajne infrastrukture i ima značajnu ulogu u bezbednom, efikasnom i predvidivom funkcionisanju saobraćaja. Njena funkcija ne zavisi samo od odgovarajućeg projektovanja i postavljanja, već i od primene propisanih standarda, pravovremenog održavanja i kontrole njenog stanja. Ovi aspekti su posebno značajni u urbanim sredinama, gde velika gustina saobraćaja, raznovrsnost korisnika i česte promene režima saobraćaja zahtevaju kontinuirano prilagođavanje i održavanje signalizacije.

Razlike u regulatornim i institucionalnim okvirima mogu značajno uticati na način upravljanja saobraćajnom signalizacijom. Zbog toga je u radu sprovedena komparativna analiza Srbije i Švedske, pri čemu su Beograd i Stokholm uzeti kao reprezentativni primeri

primene analiziranih procedura na lokalnom nivou. Cilj rada je da se utvrde sličnosti i razlike u regulatornom okviru, procedurama postavljanja i održavanja, tehničkim standardima, kontroli i drugim aspektima upravljanja saobraćajnom signalizacijom, kao i da se izdvoje prakse koje mogu predstavljati osnovu za unapređenje domaćeg sistema.

Analiza je sprovedena primenom unapred definisanih kriterijuma i jedinstvene skale ocenjivanja, čime je omogućeno sistematsko poređenje dva sistema. Na osnovu rezultata analize formulisane su preporuke za unapređenje pojedinih aspekata postavljanja i održavanja saobraćajne signalizacije u Srbiji.

2 PREGLED VAŽEĆIH PROPISA U OBLASTI SAOBRAĆAJNE SIGNALIZACIJE

Regulatorni okvir saobraćajne signalizacije u Srbiji i Švedskoj obuhvata propise kojima se uređuju pravila saobraćaja, tehničke karakteristike, projektovanje, postavljanje i održavanje signalizacije, kao i nadležnosti institucija odgovornih za njeno upravljanje. U Srbiji osnovu čine Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima, Zakon o putevima i Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji, kojim su detaljno definisani vrste, izgled, dimenzije, materijali, tehničke karakteristike i način postavljanja signalizacije. Nacionalni okvir primenjuju nadležni državni organi i upravljači puteva, dok se na lokalnom nivou njegove odredbe sprovode kroz nadležnosti gradskih organa i upravljača lokalne putne mreže.

U Švedskoj osnovni okvir čine Uredba o saobraćaju/Trafikförordning (SFS 1998:1276) i Uredba o saobraćajnim znakovima i drugim uređajima/Vägmärkesförordning (SFS 2007:90), dok Švedska transportna agencija (Transportstyrelsen) detaljnije tehničke zahteve uređuje kroz posebne propise koji se odnose na saobraćajne znakove, oznake na kolovozu i saobraćajne signale. Odgovornosti za postavljanje i održavanje signalizacije raspodeljene su prema kategoriji puta i nadležnom upravljaču, pri čemu lokalne vlasti imaju značajnu ulogu na gradskoj putnoj mreži.

Komparativna analiza pokazuje da se sistemi razlikuju pre svega u strukturi regulatornog okvira i institucionalnoj raspodeli odgovornosti. U Srbiji su ključni tehnički zahtevi u većoj meri objedinjeni u jednom centralnom pravilniku, dok je u Švedskoj regulatorni okvir detaljnije razrađen kroz više međusobno povezanih propisa. Istovremeno, švedski sistem izraženije razdvaja uloge regulatornih institucija i upravljača putne infrastrukture. Za obe države, međutim, pored formalnog postojanja tehničkih i regulatornih zahteva, značajni su njihova praktična primena, kontrola, evidentiranje nedostataka i održavanje signalizacije, zbog čega ovi aspekti predstavljaju osnov za dalju komparativnu analizu Beograda i Stokholma.

3 METODOLOGIJA

Istraživanje je sprovedeno primenom kvalitativne komparativne analize regulatornog okvira i prakse postavljanja i održavanja saobraćajne signalizacije u Srbiji i Švedskoj. Kao reprezentativni primeri lokalne primene analizirani su Beograd i Stokholm, imajući u vidu njihovu ulogu glavnih gradova i najvećih urbanih centara u posmatranim državama, ali i činjenicu da se, uprkos sličnom značaju u nacionalnim saobraćajnim sistemima, razlikuju u regulatornom, institucionalnom i organizacionom pristupu upravljanju saobraćajnom signalizacijom.

Poređenje je izvršeno na osnovu devet autorski definisanih kriterijuma, formiranih na osnovu cilja istraživanja i analize relevantnih regulatornih, tehničkih, institucionalnih,

operativnih i korisničkih aspekata upravljanja saobraćajnom signalizacijom identifikovanih kroz pregled važećih propisa i zvanične dokumentacije. Za svaki kriterijum primenjena je ordinalna skala od 1 do 5, pri čemu viša ocena označava povoljniji rezultat. Skala 1–5 predstavlja raspon ocenjivanja, dok su međuvrednosti korišćene kako bi se napravila finija distinkcija između nivoa ispunjenosti kriterijuma. Ocene predstavljaju ekspertsku procenu autora zasnovanu na važećim propisima, tehničkim standardima, institucionalnim nadležnostima i zvanično dostupnoj dokumentaciji.

4 REZULTATI KOMPARATIVNE ANALIZE

Rezultati ocenjivanja po definisanim kriterijumima prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati ocenjivanja po kriterijumima

Oznaka	Kriterijum	Srbija (Beograd)	Švedska (Stokholm)	Ključna razlika
K1	Regulatorni okvir	4,75/5	5/5	Decentralizovaniji i detaljnije razrađen tehničkim smernicama u Švedskoj
K2	Primena propisa i procedura	4,5/5	5/5	Veća dokumentovanost procedura u Švedskoj
K3	Tehnički standardi	4,75/5	5/5	Sličan nivo zahteva; razlika u sistemu tehničkih smernica
K4	Održavanje	4/5	5/5	Formalizovanje planiranja i intervali održavanja u Švedskoj
K5	Kontrola i inspekcija	3/5	4/5	Sistematičnije kontrole i dokumentovanje u Švedskoj
K6	Dostupnost informacija i transparentnost	3,75/5	5/5	Širi obim strukturiranih digitalnih podataka u Švedskoj
K7	Finansiranje i troškovi	3/5	4/5	Izraženije višegodišnje planiranje reinvestiranja u Švedskoj
K8	Ranjive grupe	3,75/5	5/5	Sistemske integrisanije zahtevi za ranjive grupe u regulatornom okviru Švedske
K9	Inovacije i nove tehnologije	4/5	5/5	Veća primena automatizovane detekcije i novih tehnologija u Švedskoj
Ukupno bodova		35,5/45	43/45	
Prosečna vr. ocene kriterijuma		3,94	4,78	

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 1, može se zaključiti da obe zemlje ostvaruju relativno visok nivo ispunjenosti definisanih kriterijuma, pri čemu Srbija ostvaruje ukupno 35,5/45 bodova (3,94), a Švedska 43/45 bodova (4,78). Švedska je bolje ocenjena u ukupnom rezultatu, prvenstveno zahvaljujući prednosti u oblastima održavanja, kontrole i inspekcije, dostupnosti informacija, dugoročnog finansiranja, pristupačnosti i primene novih tehnologija, dok su kod regulatornog okvira, primene propisa i tehničkih standarda razlike relativno male. Detaljno obrazloženje rezultata po pojedinačnim kriterijumima dato je u nastavku rada.

4.1 Regulatorno-institucionalni aspekti

K1 – Regulatorni okvir. Srbija i Švedska imaju formalno razvijene regulatorne okvire za saobraćajnu signalizaciju, a razlike se prvenstveno ogledaju u strukturi propisa i raspodeli nadležnosti, dok su u oba sistema obuhvaćeni osnovni elementi njenog uređenja.

K2 – Primena propisa i procedura. U obe države postoje formalizovane procedure za postavljanje i izmenu saobraćajne signalizacije, jasno definisane nadležnosti i mehanizmi kontrole realizacije, pri čemu se u Beogradu primena zasniva na uvidu u stanje na terenu, izdavanju odgovarajućeg rešenja i stručnom nadzoru, dok su u Stokholmu odgovornosti učesnika u procesu preciznije definisane i praćene kroz kontrolu usklađenosti sa odobrenim planovima i naknadne preglede [1, 3].

K3 – Tehnički standardi. Tehnički zahtevi za saobraćajnu signalizaciju detaljno su definisani u oba sistema, pri čemu obuhvataju karakteristike, dimenzije, materijale, vidljivost i druge tehničke osobine, kao i mehanizme provere usklađenosti sa propisanim zahtevima.

4.2 Upravljanje i održavanje

K4 – Održavanje. U Srbiji je održavanje saobraćajnica organizovano kao redovna i preventivna delatnost, uz poseban sektor za saobraćajnu signalizaciju u Beogradu, ali u dostupnim izvorima nisu potvrđeni jasno definisani periodični intervali pregleda postojeće signalizacije [2], dok su u Stokholmu održavanje i planiranje intervencija formalizovani kroz tehničku dokumentaciju i višegodišnje programe održavanja i reinvestiranja [3, 4].

K5 – Kontrola i inspekcija. Oba sistema imaju formalne procedure kontrole i stručnog nadzora i mogućnost objektivne provere tehničkih karakteristika signalizacije, ali u Srbiji nije potvrđen sistem redovnih pregleda kompletne postojeće signalizacije i sistematskog evidentiranja rezultata, dok se u Stokholmu terenske kontrole i evidentiranje nedostataka koriste za sprovođenje korektivnih mera, iako nije potvrđeno periodično pregledanje kompletne postojeće signalizacije.

K6 – Dostupnost informacija i transparentnost. Oba analizirana lokalna sistema imaju razvijene kanale komunikacije sa građanima, uključujući prijavu problema i pružanje informacija o radovima i izmenama režima saobraćaja, dok se razlika ogleda prvenstveno u nivou digitalizacije i obimu javno dostupnih podataka [1, 5].

K7 – Finansiranje i troškovi. U Srbiji su održavanje i finansiranje saobraćajne infrastrukture institucionalno organizovani, ali nije potvrđeno višegodišnje planiranje reinvestiranja posebno za saobraćajnu signalizaciju niti sistematska primena troškova životnog ciklusa pri izboru rešenja, dok su u Stokholmu održavanje i reinvestiranje obuhvaćeni višegodišnjim programima sa definisanim prioritetima i finansijskim okvirima [4]; ni u jednom sistemu nije potvrđena sistematska primena analize troškova životnog ciklusa kao kriterijuma pri izboru rešenja.

4.3 Korisnici i razvoj sistema

K8 – Ranjive grupe. U obe zemlje saobraćajna signalizacija uzima u obzir potrebe pešaka, biciklista i osoba sa invaliditetom kroz regulatorne zahteve i prilagođena rešenja, ali pristupačnost u Srbiji nije u tolikoj meri integrisana kroz čitav sistem planiranja, projektovanja, izvođenja i kontrole, dok je u Švedskoj pristupačnost dodatno integrisana u planiranje javnog prostora i razvoj signalizacije [6, 7].

K9 – Inovacije i nove tehnologije. Oba sistema primenjuju digitalne alate, baze podataka i savremene tehnologije za upravljanje saobraćajem, pri čemu Švedska pokazuje viši nivo primene automatizovanog prikupljanja podataka i testiranja novih rešenja [1, 5, 7].

5 SET PREPORUKA ZA UNAPREĐENJE DOMAĆE PRAKSE

Na osnovu rezultata komparativne analize izdvojene su sledeće preporuke za unapređenje domaće prakse:

- 1) **Uspostaviti sistemsko praćenje stanja signalizacije**, uz definisane kriterijume i intervale pregleda, radi pravovremenog planiranja intervencija.
- 2) **Unaprediti digitalnu evidenciju signalizacije** kroz jedinstvene baze podataka o lokaciji, stanju i istoriji održavanja, radi efikasnijeg planiranja i prioritizacije intervencija.
- 3) **Uvesti dugoročnije planiranje održavanja i reinvestiranja**, uz razmatranje troškova životnog ciklusa pri izboru tehničkih rešenja. Na taj način bi se odluke o zameni i obnovi signalizacije zasnivale ne samo na početnim troškovima, već i na očekivanom veku trajanja i troškovima održavanja.
- 4) **Sistematski uključiti pristupačnost i potrebe ranjivih korisnika** u projektovanje i kontrolu signalizacije. Potrebno je obezbediti njihovu doslednu proveru kroz procedure projektovanja i kontrole izvedenog stanja.
- 5) **Podsticati primenu ITS-a i savremenih tehnologija** za automatizovano prikupljanje podataka, upravljanje i podršku odlučivanju u održavanju. Poseban potencijal postoji u povezivanju postojećih digitalnih baza sa sistemima za automatsko prikupljanje podataka i podršku odlučivanju u održavanju.

6 ZAKLJUČAK

Komparativna analiza pokazala je da Srbija i Švedska imaju razvijene regulatorne i tehničke osnove, dok se izraženije razlike javljaju u održavanju, kontroli, dostupnosti informacija, dugoročnom planiranju i primeni novih tehnologija. Švedska je ostvarila viši ukupni rezultat (43/45 prema 35,5/45), prvenstveno zbog sistematičnijeg održavanja i kontrole, višegodišnjeg planiranja reinvestiranja i intenzivnije primene digitalnih rešenja.

Rezultati ukazuju da razlika između sistema nije prvenstveno u postojanju propisa i tehničkih zahteva, već u stepenu njihove operativne primene, integracije i dugoročnog upravljanja životnim ciklusom signalizacije. Unapređenje domaće prakse stoga podrazumeva ciljano prilagođavanje uspešnih elemenata švedske prakse postojećem institucionalnom i tehničkom okviru Srbije.

Doprinos ovog rada ogleda se u sistematizaciji ključnih regulatornih, tehničkih, institucionalnih i operativnih aspekata upravljanja saobraćajnom signalizacijom i njihovom uporednom sagledavanju na primeru Beograda i Stokholma. Sprovedena analiza predstavlja osnovu za identifikovanje prioriternih oblasti za unapređenje domaće prakse i može poslužiti kao polazna osnova za dalja istraživanja i razvoj efikasnijih procedura upravljanja, održavanja i kontrole saobraćajne signalizacije.

LITERATURA

- [1] Grad Beograd, Sekretarijat za saobraćaj. Dostupno na: Sekretarijat za saobraćaj (pristupljeno: 11.08.2026).
- [2] Grad Beograd. Osnovna delatnost JKP „Beograd put“ – Redovno održavanje saobraćajnica i sprečavanje nastanka većih oštećenja. Beograd, 2025. Dostupno na: Grad Beograd – JKP „Beograd put“ (pristupljeno: 11.08.2026).
- [3] Stockholms stad. Teknisk handbok för byggande, drift och underhåll på allmän plats.

- Stockholm. Dostupno na: Stockholms stad – Technical Manual (pristupljeno: 11.08.2026).
- [4] Stockholms stad. Reinvesteringsprogram för gatuytor med tillhörande anordningar 2024–2027 – Genomförandebeslut. Stockholm, 2023. Dostupno na: Reinvesteringsprogram 2024–2027 (pristupljeno: 11.08.2026).
- [5] Stockholms stad. Stockholms stads dataportal. Dostupno na: Stockholms stads dataportal (pristupljeno: 11.08.2026).
- [6] Stockholms stad. Trafik och framkomlighet. Stockholm. Dostupno na: Stockholms stad – Trafik och framkomlighet (pristupljeno: 11.08.2026).
- [7] Stockholms stad. Urban Mobility Strategy. Stockholm. Dostupno na: Urban Mobility Strategy (pristupljeno: 11.08.2026).

SUMMARY

Procedures, Standards and Practices for the Design and Maintenance of Traffic Signage – A Comparative Analysis of Serbia and Sweden

Abstract: Traffic signage represents one of the key elements of the transport system, whose proper implementation and maintenance have a significant impact on its functioning. Although the standards and procedures governing the design, installation and maintenance of traffic signage are defined through appropriate regulatory frameworks, the manner of their implementation and the degree of consistency in their application vary significantly among countries. In this context, this paper analyses and compares traffic signage design and maintenance practices in Serbia (Belgrade) and Sweden (Stockholm), with the aim of assessing the systematic nature and consistency of applying the standards and procedures that influence the quality and functioning of the transport system. Based on a comparative approach, the research is grounded in a qualitative expert assessment of nine criteria, including legal frameworks, technical standards and the application of modern technologies. The results of the analysis indicate that the Swedish system demonstrates a higher level of development in aspects that may contribute to safer and more reliable traffic signage performance, the availability of real-time information, and better adaptation to the needs of different user groups. In addition, significant differences were identified in management efficiency, quality control and the long-term economic sustainability of the systems. Based on the conducted analysis, recommendations for improving domestic practice are proposed, including a shift from reactive to proactive maintenance, increased digitalisation of traffic signage management processes, enhancement of quality control mechanisms, and strengthening of institutional capacities for the implementation and supervision of prescribed standards. These measures provide a basis for improving existing traffic signage management practices and developing more effective policies in the field of its design and maintenance.

Keywords: traffic signage, technical standards, regulatory framework, comparative analysis, recommendations for improvement

Унапређење процеса одржавања саобраћајне сигнализације применом фази логике

Владимир Ристановић, Институт за путеве, Београд,
vladimir.ristanovic.25d014@student.sf.bg.ac.rs

Тања Грбић, Институт за путеве, Београд, t.grbic@highway.rs

Владимир Кораћ, Институт за путеве, Београд, v.korac@highway.rs

Јовановић Ђорђе, Институт за путеве, Београд, dj.jovanovic@highway.rs

Резиме: Саобраћајна сигнализација представља један од основних елемената система управљања и регулисања саобраћаја, при чему саобраћајни знакови и ознаке на путу имају значајну улогу у преношењу регулативних, обавештајних и упозоравајућих информација учесницима у саобраћају. Да би испунили своју функцију, неопходно је да буду јасни, уочљиви и лако разумљиви, како би се информације благовремено и недвосмислено пренеле корисницима саобраћаја. Посебан значај ознаке на путу добијају у ситуацијама када саобраћајни знакови недостају, оштећени су или нису благовремено обновљени, јер тада преузимају важну улогу у одржавању континуитета и ефикасности регулисања саобраћајних токова.

У реалним условима, како саобраћајни знакови тако и ознаке на коловозу изложени су негативним утицајима атмосферских прилика, механичком хабању услед саобраћајног оптерећења, као и различитим облицима деградације и оштећења. Последица тога је постепено смањење њихове видљивости и функционалности, због чега је неопходно редовно одржавање и обнављање. Иако су важећим прописима дефинисани параметри и критеријуми које саобраћајна сигнализација треба да задовољава, у пракси се често јављају потешкоће у погледу благовремене и прецизне процене њеног стања, нарочито када су за испитивање потребне лабораторијске анализе и специјализована опрема.

У циљу унапређења процеса управљања одржавањем саобраћајне сигнализације, у раду је разматрана примена фази логике (Fuzzy Logic) као методе подршке одлучивању у условима неизвесности и непотпуних информација. Применом поступака фазификације и дефазификације над улазним променљивама које утичу на степен препознатљивости и функционалности саобраћајне сигнализације, могуће је развити модел за процену стања и одређивање приоритета обнављања. Предложени приступ омогућава ефикасније планирање интервенција, при чему мере одржавања могу обухватити чишћење или замену саобраћајних знакова и ознака на путу, у зависности од утврђеног стања. На тај начин омогућава се ефикасније управљање одржавањем саобраћајне инфраструктуре и унапређење безбедности саобраћаја.

Кључне речи: саобраћај, саобраћајни знакови, ознаке на путу, фази логика

1 УВОД

Саобраћајна сигнализација представља један од кључних елемената система управљања и регулисања саобраћаја, јер омогућава безбедно, ефикасно и организовано одвијање саобраћајних токова. У оквиру система саобраћајне сигнализације, саобраћајни знакови и ознаке на путу имају посебно значајну улогу у преношењу регулативних, обавештајних и упозоравајућих информација свим учесницима у саобраћају. Њихова основна функција огледа се у благовременом информисању возача, пешака и других корисника саобраћајне инфраструктуре, како би се омогућило доношење правилних и безбедних одлука током кретања у саобраћају. Да би саобраћајна сигнализација испунила своју намену, неопходно је да буде јасна, уочљива, прецизна и лако разумљива, јер само на тај начин информације могу бити недвосмислено и правовремено пренете корисницима.

Посебан значај у систему регулисања саобраћаја имају ознаке на путу, нарочито у ситуацијама када су саобраћајни знакови оштећени, недостају или нису благовремено обновљени. У таквим условима, хоризонтална сигнализација преузима важну улогу у одржавању континуитета регулисања саобраћајних токова и обезбеђивању безбедности учесника у саобраћају. Њихова видљивост и препознатљивост директно утичу на квалитет вођења саобраћаја, посебно у условима смањене видљивости, неповољних временских прилика и повећаног интензитета саобраћаја.

У реалним условима експлоатације, како саобраћајни знакови тако и ознаке на коловозу изложени су бројним негативним утицајима који доводе до постепене деградације њихових функционалних својстава. Атмосферске прилике, температурне промене, падавине, механичко хабање услед саобраћајног оптерећења, као и различити облици физичких оштећења, временом умањују њихову уочљивост, ретрорефлексију и општу функционалност. Последица ових процеса је смањена ефикасност саобраћајне сигнализације, што може негативно утицати на безбедност и организацију саобраћаја. Због тога је неопходно спроводити редовно праћење стања, одржавање и благовремено обнављање саобраћајне сигнализације.

Иако су важећим прописима и стандардима дефинисани параметри и критеријуми које саобраћајна сигнализација треба да задовољава, у пракси се често јављају потешкоће у погледу благовремене и прецизне процене њеног стања. Процеси контроле и процене квалитета често захтевају примену специјализоване опреме, лабораторијских анализа и стручне процене, што може отежати ефикасно планирање интервенција и одржавања. Поред тога, процена стања сигнализације често подразумева рад са непотпуним, неодређеним или субјективним информацијама, што додатно усложњава процес доношења одлука.

У циљу унапређења процеса управљања одржавањем саобраћајне сигнализације, у овом раду разматрана је примена фази логике (Fuzzy Logic) као методе подршке одлучивању у условима неизвесности и непотпуних информација. Фази логика омогућава моделирање проблема код којих класични математички приступи нису довољно ефикасни, јер се заснива на описним и апроксимативним вредностима које су ближе реалним условима. Применом поступака фазификације и

дефазификације над улазним променљивама које утичу на степен препознатљивости и функционалности саобраћајне сигнализације, могуће је формирати модел за процену стања и одређивање приоритета обнављања саобраћајних знакова и ознака на путу.

Предложени приступ омогућава ефикасније планирање и оптимизацију мера одржавања, при чему интервенције могу обухватити чишћење или замену саобраћајних знакова и ознака на путу, у зависности од утврђеног степена оштећења и функционалности. На тај начин омогућава се рационалније управљање ресурсима, ефикасније одржавање саобраћајне инфраструктуре и унапређење укупног нивоа безбедности саобраћаја.

2 ЛИТЕРАРНИ ПРЕГЛЕД

Претходни радови, на тему саобраћајне сигнализације и оштећења исте се заснивају на рачунарским моделима CNN и “Deep Learning” моделима учења вештачке интелигенције за препознавање оштећења саобраћајне сигнализације. Док поједини радови анализирају факторе који утичу на деградацију саобраћајне сигнализације.

Са напредовањем сектора информационих технологија, где програми и писање програма постаје доступније већој народној маси, тако и технологије препознавања може да се користи у више различитих сврха, попут аутономних возила. Један од радова представља CNN алгоритам који препознаје оштећене и вандализоване знакове, и сврстава их у категорије саобраћајних знакова (Ana Trpković, 2021).

Оштећени и вандализовани саобраћајни знакови требају бити замењени новим. Детекција оштећених знакова и мерење оштећења може да се уради кроз компјутерске програме. Рад који предлаже коришћење YOLO алгоритма за препознавање, а касније и мерење оштећења саобраћајног знака. Након тога се користи детекција грешке, тј. оштећења, у зависности од количине грешке (0-1) оштећење са категорише у једну од 6 категорија (Can Ersü, 2024).

Коришћење компјутерских модела за детекцију знакова и категорисање оштећења је показатељ напредовања технологије, али шта доводи до физичког хабања саобраћајног знака. Рад који истражује јасноћу саобраћајног знака представља 7 различитих утицаја на хабање истог. Утицаји су различите природе, природне појаве и људски утицај (проток возила, висина постављања саобраћајног знака). Од свих 7 утицаја, 3 имају значајно већи утицај на хабање од осталих, а 2 су људске природе (Majid Khalilikhan, 2016).

Постоје радови који истражују и ознаке на путу, често користе компјутерску асистенцију за детекцију ознаке на путу. Након детекције и категорисања ознаке на путу, алгоритам рачуна проценат ознаке на путу који недостаје. Алгоритма је добар за рачунање физичког хабања ознаке на путу, док остале факторе занемарује (Shuquan Xu, 2021).

Поједини радови користе и „Deep Learning“ за препознавање и категорисање оштећења, специфични користе и фази логику за класификовање тежине оштећења ознаке на путу. Рад врло добро описује начин постављања алгоритма за детекцију ознаке на путу, а касније и описивање оштећења исте. Са високим степеном

прецизности детекције ознаке на путу и оштећења исте. Међутим фази логиком се описује степен оштећења физичког хабања (William Eric Manongga, 2025)

Као што може да се види, истраживачки радови на сличну тему често користе компјутерску асистенцију за детектовање саобраћајне сигнализације и за детектовање оштећења на истој. Најчешће оштећење које се спомиње је физичко хабање ознака на путу и оштећења на саобраћајним знаковима која онемогућују препознавање. У пракси оштећење није увек исте природе, овде се приказује тип оштећења у зависности од типа саобраћајне сигнализације, и утицај типа оштећења на начин редовног одржавања.

3 МЕТОДОЛОГИЈА

Применом фази логике акценат се ставља на квалитативне податке, односно на моделовање начина људског размишљања и процеса доношења одлука у условима неизвесности. Сваки од анализираних елемената саобраћајне сигнализације описан је помоћу три специфичне улазне променљиве, при чему је свака променљива представљена одговарајућим фази скупом. Сваки фази скуп дефинисан је кроз три фази броја, распоређена тако да приоритет обнове сигнализације расте од леве ка десној страни графичког приказа функција припадности. За сваки посматрани елемент саобраћајне сигнализације формирано је укупно 27 фази правила, која представљају основу система фази закључивања и омогућавају доношење одлуке о приоритету обнове.

Оба елемента саобраћајне сигнализације имају исту излазну променљиву, дефинисану као приоритет обнављања. Као и улазне променљиве, излазна променљива представљена је фази скупом који садржи три фази броја. Фази бројеви су дефинисани као: Редован, који означава најнижи приоритет обнове; Важан, који представља средњи ниво приоритетности обнове; и Критичан, који означава да је обнављање неопходно спровести у што краћем временском року.

3.1 Саобраћајни знакови

Саобраћајни знакови, као саставни део система саобраћајне сигнализације, регулисани су Правилником о саобраћајној сигнализацији. За потребе овог рада дефинисане су три (3) променљиве које је могуће оценити применом субјективне методе.

Прва разматрана променљива је перцептибилност, односно способност учесника у саобраћају да благовремено уочи и препозна саобраћајни знак. Фази скуп који описује ову променљиву дефинисан је помоћу три фази броја, рангирана од најбоље ка најлошијој могућности препознавања: велика, средња и мала.

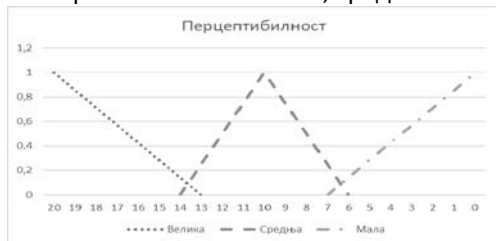


График 1: Функција припадности - Перцептибилност

Друга променљива је ретрорефлексија, која представља способност површине саобраћајног знака да рефлектује упадну светлост назад ка њеном извору, чиме се обезбеђује уочљивост знака у условима смањене видљивости. Ова променљива је такође описана са три фази броја: велика, средња и мала, поређана од најбољој ка најлошијој ретрорефлективној карактеристици. Све ако је преко 20% је велико оштећење.

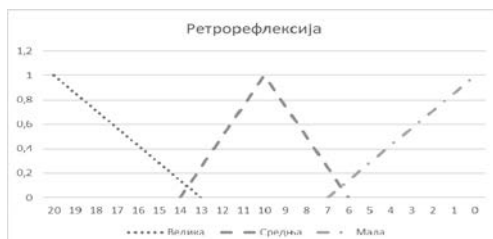


График 2: Функција припадности - Ретрорефлексија

Трећа променљива је деформација саобраћајног знака, која се односи на степен физичке деградације, као што су савијање, увијање или друга механичка оштећења. Фази скуп за ову променљиву дефинисан је кроз три фази броја, распоређена од најповољнијег ка најнеповољнијем стању: мала, средња и велика.

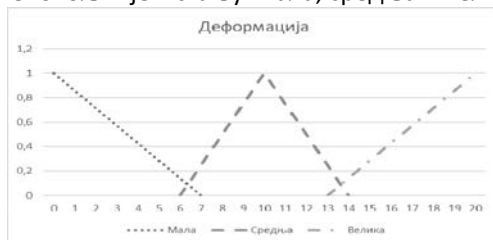


График 3: Функција припадности – Деформација

Табела 1: Фази правила за саобраћајне знакове

Улазне променљиве			Изразна променљива
Перцептибилност	Ретрорефлексија	Деформација	Приоритет
Велика	Велика	Мала	Редован
Велика	Велика	Средња	Важан
Велика	Велика	Велика	Критичан
Велика	Средња	Мала	Важан
Велика	Средња	Средња	Важан
Велика	Средња	Велика	Критичан
Велика	Мала	Мала	Критичан
Велика	Мала	Средња	Критичан
Велика	Мала	Велика	Критичан
Средња	Велика	Мала	Важан
Средња	Велика	Средња	Важан
Средња	Велика	Велика	Критичан
Средња	Средња	Мала	Важан
Средња	Средња	Средња	Важан
Средња	Средња	Велика	Критичан

Средња	Мала	Мала	Критичан
Средња	Мала	Средња	Критичан
Средња	Мала	Велика	Критичан
Мала	Велика	Мала	Критичан
Мала	Велика	Средња	Критичан
Мала	Велика	Велика	Критичан
Мала	Средња	Мала	Критичан
Мала	Средња	Средња	Критичан
Мала	Средња	Велика	Критичан
Мала	Мала	Мала	Критичан
Мала	Мала	Средња	Критичан
Мала	Мала	Велика	Критичан

3.2 Ознаке на путу

Ознаке на путу, као саставни део система саобраћајне сигнализације, регулисане су Правилником о саобраћајној сигнализацији. За потребе овог рада дефинисане су три (3) променљиве које је могуће оценити применом субјективне методе.

Прва разматрана променљива је истрошеност, која представља количину материјала преосталог на коловозној површини након физичког хабања. Фази скуп који описује ову променљиву дефинисан је помоћу три фази броја, рангирана од најбољег ка најлошијем стању: мала, средња и велика.

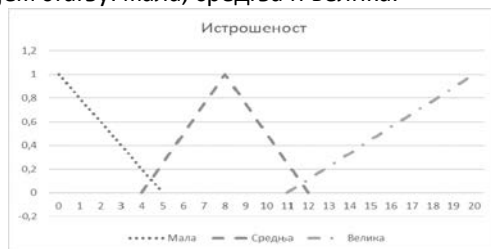


График 4: Функција припадности – Истрошеност

Друга променљива је континуитет, који представља степен очуваности просторне целине ознаке на путу. Ова променљива је описана са три фази броја, поређана од најбољег ка најлошијем стању: велики, средњи и мали.

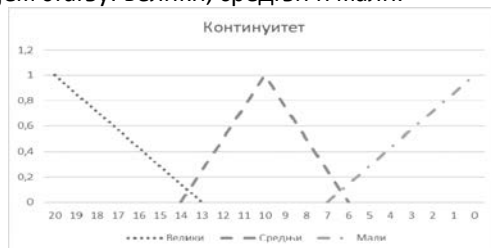


График 5: Функција припадности – Континуитет

Трећа променљива је контраст, односно степен визуелног издвајања ознаке на путу у односу на коловозну површину. Фази скуп за ову променљиву дефинисан је кроз три фази броја, распоређена од најбољег ка најлошијем стању: велика, средња и мала.

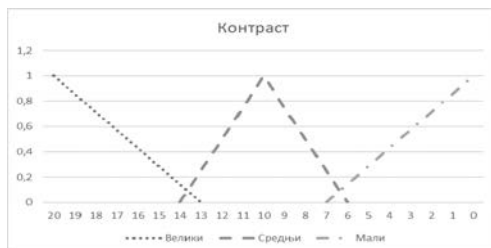


График 6: Функција припадности - Контраст

Табела 2: Фази правила за ознаке на путу

Улазне променљиве			Изразна променљива
Истрошеност	Континуитет	Контраст	Приоритет
Мала	Велики	Велики	Редован
Мала	Велики	Средњи	Важан
Мала	Велики	Мали	Критичан
Мала	Средњи	Велики	Важан
Мала	Средњи	Средњи	Важан
Мала	Средњи	Мали	Критичан
Мала	Мали	Велики	Критичан
Мала	Мали	Средњи	Критичан
Мала	Мали	Мали	Критичан
Средња	Велики	Велики	Важан
Средња	Велики	Средњи	Важан
Средња	Велики	Мали	Критичан
Средња	Средњи	Велики	Важан
Средња	Средњи	Средњи	Важан
Средња	Средњи	Мали	Критичан
Средња	Мали	Велики	Критичан
Средња	Мали	Средњи	Критичан
Средња	Мали	Мали	Критичан
Велика	Велики	Велики	Критичан
Велика	Велики	Средњи	Критичан
Велика	Велики	Мали	Критичан
Велика	Средњи	Велики	Критичан
Велика	Средњи	Средњи	Критичан
Велика	Средњи	Мали	Критичан
Велика	Мали	Велики	Критичан
Велика	Мали	Средњи	Критичан
Велика	Мали	Мали	Критичан

4 ЕКСПЕРИМЕНТ

У циљу приказа функционисања развијеног фази модела, у овом поглављу приказана су по три модела за процену приоритета обнове саобраћајног знака и ознаке на путу. Сви примери представљају моделе, односно хипотетички одабране случајеве, чији је циљ демонстрација рада фази система, а не анализа стварно измерених вредности. Поступак одређивања приоритета обнове приказан је кроз четири основна корака:

1. фазификација улазних вредности;
2. активирање фази правила;
3. агрегација излазних фази скупова;
4. дефазификација добијеног резултата.

Процес дефазификације у сваком моделу користи идентичну једначину методом центра површине:

$$y^* = \frac{\int y * \mu(y) dy}{\int \mu(y) dy} \quad (1)$$

где је y^* дефазификована вредност, а $\mu(y)$ агрегација припадности излазне променљиве.

4.1 Саобраћајни знакови

За процену стања саобраћајног знака користе се три улазне променљиве дефинисане у поглављу 3.1: перцептибилност, ретрорефлексија и деформација. За потребе модела приказа, излазна променљива је представљена на нумеричком интервалу од 0 до 100, при чему већа вредност означава већи приоритет обнове.

4.1.1 Модел 1 – редован приоритет

У првом случају посматра се саобраћајни знак код којег су перцептибилност и ретрорефлексија високе, док је деформација мала. Усвојене су следеће улазне вредности: $P = 18$, $R = 18$, $D = 3$

где су P , R и D редом перцептибилност, ретрорефлексија и деформација.

ФАЗИФИКАЦИЈА

За перцептибилност $P=18$, вредност се налази у области фази скупа „Велика“. Степен припадности одређује се према функцији: $\mu_{\text{Велика}}(18) = \frac{(18-14)}{(20-14)} = 0,667$

Припадност скуповима „Мала“ и „Средња“ једнака је нули.

За ретрорефлексију $R=18$ добија се исти резултат: $\mu_{\text{Велика}}(18) = \frac{(18-14)}{(20-14)} = 0,667$

За деформацију $D=3$, вредност се налази у области фази скупа „Мала“. Степен припадности износи: $\mu_{\text{Мала}}(3) = 1 - \frac{3}{6} = 0,5$:

АКТИВИРАЊЕ ПРАВИЛА

Ово правило се налази у Табели 1 и представља комбинацију којој је додељен редован приоритет обнове. За одређивање степена активирања правила користи се MIN оператор, односно узима се најмањи степен припадности улазних променљивих:

$$\alpha_1 = \min(0,667; 0,667; 0,500) = 0,500$$

Добијени резултат означава да се правило активира степеном 0,500.

АГРЕГАЦИЈА

Након активирања правила врши се агрегација излазних фази скупова. У овом случају активно је само једно правило, чији је излаз „Редован“.

ДЕФАЗИФИКАЦИЈА

За одсечену функцију „Редован“, на нивоу 0,500, добија се: $y^* = 11,67$

Према томе, приоритет обнове за први модел износи: $P_{\text{обнове}} = \frac{11,67}{100}$

Добијена вредност одговара **Редовном** приоритету обнове.

4.1.2 Модел 2 – важан приоритет

У другом случају разматра се саобраћајни знак код којег су перцептибилност и ретрорефлексија у средњем стању, док је деформација мала. Усвојене су следеће вредности: $P = 12$, $R = 8$, $D = 5$

ФАЗИФИКАЦИЈА

За перцептибилност $P = 12$ добија се: $\mu_{\text{Средња}}(12) = \frac{(14 - 12)}{(14 - 10)} = 0,500$

За ретрорефлексију $R = 8$ добија се: $\mu_{\text{Средња}}(8) = \frac{(8 - 6)}{(10 - 6)} = 0,500$

За деформацију $D = 5$ добија се: $\mu_{\text{Мала}}(5) = 1 - \frac{5}{6} = 0,167$

АКТИВИРАЊЕ ПРАВИЛА

Ово правило је дефинисано у Табели 1. Степен активирања правила износи:

$\alpha_2 = \min(0,500; 0,500; 0,167) = 0,167$

Према томе, излазни фази скуп „Важан“ активира се степеном 0,167.

АГРЕГАЦИЈА

У овом случају активно је само једно правило. Његов излаз је фази скуп „Важан“, чија се функција припадности одсеца на нивоу $\alpha_2 = 0,167$.

ДЕФАЗИФИКАЦИЈА

Функција припадности „Важан“ је симетрична око вредности 50. Због симетрије одсечене функције, њен центар површине остаје на истој вредности: $y_2^* = 50,00$

Коначни приоритет обнове износи: $P_{\text{обнове}} = \frac{50}{100}$

Добијена вредност одговара **Важном** приоритету обнове.

4.1.3 Модел 3 – критичан приоритет

Трећи случај представља саобраћајни знак са ниском перцептибилношћу и ретрорефлексијом и израженом деформацијом. Усвојене су вредности:

$P = 4$, $R = 4$, $D = 18$

ФАЗИФИКАЦИЈА

За перцептибилност $P = 4$ добија се: $\mu_{\text{Мала}} = 1 - \frac{4}{6} = 0,333$

За ретрорефлексију $R = 4$ добија се: $\mu_{\text{Мала}} = 1 - \frac{4}{6} = 0,333$

За деформацију $D = 18$, добија се: $\mu_{\text{Велика}} = \frac{18-14}{20-14} = 0,667$

АКТИВИРАЊЕ ПРАВИЛА

Ово правило је дефинисано у Табели 1 и припада комбинацијама које резултују критичним приоритетом. Степен активирања правила износи:

$$\alpha_3 = \min(0,333; 0,333; 0,667) = 0,333$$

АГРЕГАЦИЈА

Изаз активираниг правила је фази скуп „Критичан“. Његова функција припадности се одсеца на нивоу $\alpha_3 = 0,333$.

ДЕФАЗИФИКАЦИЈА

За одсечену функцију „Критичан“ добија се: $y_3^* = 87,33$

Коначни приоритет обнове износи: $P_{\text{обнове}} = \frac{87,33}{100}$

што одговара критичном приоритету обнове.

4.2 Ознаке на путу

За процену стања ознака на путу користе се три улазне променљиве дефинисане у поглављу 3.2: истрошеност, континуитет и контраст. За потребе модела, излазна променљива је представљена на нумеричком интервалу од 0 до 100, при чему већа вредност означава већи приоритет обнове.

4.2.1 Модел 1 – редован приоритет

У првом случају посматра се ознака на путу код које је истрошеност мала, док су континуитет и контраст велики. Усвојене су следеће улазне вредности:

$$I = 3, \quad K = 18, \quad C = 18$$

где су I, K и C редом истрошеност, континуитет и контраст.

ФАЗИФИКАЦИЈА

За истрошеност $I = 3$, степен припадности износи: $\mu_{\text{Мала}} = 1 - \frac{3}{6} = 0,500$

За континуитет $K = 18$ добија се: $\mu_{\text{Велика}} = \frac{18-14}{20-14} = 0,667$

За контраст $C = 18$ добија се: $\mu_{\text{Велика}} = \frac{18-14}{20-14} = 0,667$

АКТИВИРАЊЕ ПРАВИЛА

Ово правило је дефинисано Табелом 2 и представља комбинацију која одговара редовном приоритету обнове. Степен активирања правила одређује се применом MIN оператора: $\alpha_1 = \min(0,500; 0,667; 0,667) = 0,500$

Добијени резултат означава да се правило активира степеном 0,500.

АГРЕГАЦИЈА

Активирано правило као излаз даје фази скуп „Редован“. Његова функција припадности се одсеца на нивоу: $\alpha_1 = 0,500$

ДЕФАЗИФИКАЦИЈА

За одсечену функцију „Редован“, на нивоу 0,500, добија се: $y_1^* = 11,67$

Према томе, приоритет обнове за први моделни случај износи: $P_{\text{обнова}} = \frac{11,67}{100}$

Добијена вредност одговара **Редовном** приоритету обнове.

4.2.2 Модел 2 – важан приоритет

У другом случају разматра се ознака на путу код које је истрошеност мала, док су континуитет и контраст у средњем стању. Усвојене су следеће вредности:

$$I = 5, \quad K = 8, \quad C = 12$$

ФАЗИФИКАЦИЈА

За истрошеност $I = 5$ добија се: $\mu_{\text{Мала}} = 1 - \frac{5}{6} = 0,167$

За континуитет $K = 8$, степен припадности износи: $\mu_{\text{Средњи}} = \frac{8-6}{10-6} = 0,500$

За контраст $C = 12$ добија се: $\mu_{\text{Средњи}} = \frac{14-12}{14-10} = 0,500$

АКТИВИРАЊЕ ПРАВИЛА

Ово правило је дефинисано Табелом 2 као комбинација која резултује важним приоритетом. Степен активирања правила износи: $\alpha_2 = \min(0,167; 0,500; 0,500) = 0,167$

Према томе, излазни фази скуп „Важан“ активира се степеном 0,167.

АГРЕГАЦИЈА

У овом случају активно је само једно правило. Његов излаз је фази скуп „Важан“, чија се функција припадности одсеца на нивоу: $\alpha_2 = 0,167$

ДЕФАЗИФИКАЦИЈА

За одсечену функцију „Важан“ добија се: $y_2^* = 50,00$

С обзиром на то да је функција припадности „Важан“ симетрична око вредности 50, центар површине одсечене функције остаје на истој вредности.

Коначни приоритет обнове износи: $P_{\text{обнова}} = \frac{50}{100}$

Добијена вредност одговара **Важном** приоритету обнове.

4.2.3 Модел 3 – критичан приоритет

Трећи случај представља ознаку на путу са великом истрошеношћу, малим континуитетом и малим контрастом. Усвојене су вредности: $I = 18, \quad K = 4, \quad C = 4$

ФАЗИФИКАЦИЈА

За истрошеност $I = 18$, степен припадности износи: $\mu_{\text{Велика}} = \frac{18-14}{20-14} = 0,667$

За континуитет $K = 4$ добија се: $\mu_{\text{Мала}} = 1 - \frac{4}{6} = 0,333$

За контраст $C = 4$ добија се: $\mu_{\text{Мала}} = 1 - \frac{4}{6} = 0,333$

АКТИВИРАЊЕ ПРАВИЛА

Ово правило је дефинисано у Табели 2 и припада комбинацијама које резултују критичним приоритетом. Степен активирања правила износи:

$$\alpha_3 = \min(0,667; 0,333; 0,333) = 0,333$$

АГРЕГАЦИЈА

Излаз активираног правила је фази скуп „Критичан“. Његова функција припадности се одсеца на нивоу: $\alpha_3 = 0,333$

ДЕФАЗИФИКАЦИЈА

За одсечену функцију „Критичан“ добија се: $y_3^* = 87,33$

Коначни приоритет обнове износи: $P_{\text{обнове}} = \frac{87,33}{100}$

што одговара **Критичном** приоритету обнове.

5 ЗАКЉУЧАК

У овом раду разматрана је примена фази логике за процену стања и одређивање приоритета обнове саобраћајне сигнализације. Формирана су два модела, за саобраћајне знакове и ознаке на путу, при чему су за сваки модел дефинисане три улазне променљиве и база од 27 фази правила. Као заједничка излазна променљива дефинисан је приоритет обнове, са категоријама редован, важан и критичан.

Кроз модел приказани су поступци фазификације, активирања правила, агрегације и дефазификације, при чему се као резултат добија нумеричка вредност приоритета обнове у интервалу од 0 до 100. Резултати показују да модел различите комбинације стања сигнализације преводи у одговарајући ниво приоритета, што омогућава и међусобно рангирање елемената према потреби за обновом.

Иако су у овом раду коришћени модели, развијени приступ представља основу за примену у реалним условима, где би се вредности улазних променљивих могле добити мерењем, стручном проценом или аутоматизованом анализом стања сигнализације.

Примена фази логике на овај начин може допринети систематичнијем одређивању приоритета одржавања и ефикаснијем усмеравању расположивих ресурса на обнову саобраћајне сигнализације.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Majid Khalilikhah, Kevin Heaslip (2016). Analysis of factors temporarily impacting traffic sign readability. International Journal of Transportation Science and Technology 5 (2016) 60-67
- [2] Luca Bertolini (2020). From “streets for traffic” to “streets for people”: can street experiments transform urban mobility?, Transport Reviews, 40:6, 734-753,
- [3] William Eric Mahongga, Rung-Ching Chen (2025). Road Marking Sign Damage Detection and Classification Using Deep Learning and Fuzzy Method. IEEE Access
- [4] Can Ersue, Karl Jenson, Eduard Petlenkov, Uljana Reinsalu (2024). Automatic Visual Traffic Sign Damage Detection And Measurement of Damaged Area. 18th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV)
- [5] Ana Trpković, Milica Šelmić, Sreten Jevremović (2021). Model for the Identification and Classification of Partially Damaged and Vandalized Traffic Signs. KSCE Journal of Civil Engineering (2021) 25(10):3953-3965
- [6] Душан Теодоровић, Милица Шелмић (2019). Рачунарска Интелигенција у Саобраћају. Саобраћајни Факултет

SUMMARY

Improving the Traffic Signage Maintenance Process Using Fuzzy Logic

Abstract: Traffic signage represents one of the fundamental elements of the traffic management and regulation system, with traffic signs and road markings playing an important role in conveying regulatory, informative, and warning information to road users. In order to fulfill their function, they must be clear, visible, and easily understandable, so that information can be conveyed to road users in a timely and unambiguous manner. Road markings are particularly important in situations where traffic signs are missing, damaged, or not renewed in a timely manner, as they then assume an important role in maintaining the continuity and efficiency of traffic flow regulation.

Under real-world conditions, both traffic signs and road markings are exposed to adverse weather conditions, mechanical wear caused by traffic loads, as well as various forms of degradation and damage. As a result, their visibility and functionality gradually decrease, making regular maintenance and renewal necessary. Although applicable regulations define the parameters and criteria that traffic signage should meet, practical difficulties often arise in terms of the timely and accurate assessment of its condition, particularly when laboratory analyses and specialized equipment are required for testing.

With the aim of improving the maintenance management process of traffic signage, this study examines the application of Fuzzy Logic as a decision-support method under conditions of uncertainty and incomplete information. By applying fuzzification and defuzzification procedures to input variables that affect the recognizability and functionality of traffic signage, it is possible to develop a model for condition assessment and the determination of renewal priorities. The proposed approach enables more efficient planning of interventions, whereby maintenance measures may include the cleaning or replacement of traffic signs and road markings, depending on the assessed condition. In this way, more efficient management of traffic infrastructure maintenance and an improvement in traffic safety can be achieved.

Keywords: traffic, traffic signs, road markings, Fuzzy Logic

Uticaj vizuelne složenosti okruženja na percepciju i razumevanje saobraćajnih znakova

Anđela Novaković, Saobraćajni fakultet, Beograd, andjelanovakovicc@gmail.com

Ana Trpković, Saobraćajni fakultet, Beograd, a.trpkovic@sf.bg.ac.rs

Marjana Čubranić-Dobrodolac, Saobraćajni fakultet, Beograd, marjana@sf.bg.ac.rs

Rezime: Razumevanje i pravilna percepcija saobraćajnih znakova predstavljaju osnovni preduslov za adekvatno ponašanje i postupanje vozača u saobraćaju. U tom kontekstu, neophodno je da vozači, kao i ostali učesnici u saobraćaju, precizno uočavaju i ispravno interpretiraju postavljenu saobraćajnu signalizaciju.

Jedan od ključnih problema u procesu percepcije saobraćajnih znakova u urbanim sredinama predstavlja složenost okruženja u kojem su znakovi postavljeni. Reklamni sadržaji (bilbordi, LED i drugi digitalni displeji), elementi urbane infrastrukture (stubovi javne rasvete, nadvožnjaci), vegetacija, privremena signalizacija i drugi vizuelni distraktori mogu značajno umanjiti uočljivost saobraćajne signalizacije i usporiti vreme reagovanja vozača.

Cilj ovog rada je ispitivanje uticaja složenosti vizuelnog okruženja na proces percepcije saobraćajnih znakova, kao i analiza povezanosti između nivoa razumevanja znakova i brzine njihove percepcije u prostoru. Istraživanje je sprovedeno u dva dela: prvi deo obuhvata analizu razumevanja saobraćajnih znakova, dok se drugi deo odnosi na ispitivanje percepcije u vizuelnim okruženjima različite složenosti.

Rezultati istraživanja ukazuju na negativan uticaj vizuelne zasićenosti urbanog prostora na percepciju saobraćajnih znakova, kao i na potrebu sprovođenja daljih empirijskih istraživanja. Dobijeni nalazi mogu poslužiti kao osnova za unapređenje prostornog planiranja, usklađivanje nadležnosti u upravljanju infrastrukturom i poboljšanje regulatornog okvira. Takođe, rezultati mogu doprineti poboljšanju dizajna saobraćajnih znakova, sprovođenju edukativnih kampanja i podizanju svesti učesnika u saobraćaju.

Ključne reči: saobraćajni znakovi, vizuelna složenost, percepcija, razumevanje signalizacije

1 UVOD

Saobraćajni znakovi predstavljaju jedno od osnovnih sredstava za regulisanje saobraćaja, čija je glavna uloga prenos informacija neophodnih za donošenje odluka tokom vožnje. Njihova pravovremena i tačna percepcija, kao i pravilno razumevanje poruke koju prenose, predstavljaju preduslove za bezbedno i efikasno realizovanje saobraćaja.

Efikasnost saobraćajnih znakova ne zavisi samo od njihove uočljivosti, već i od sposobnosti korisnika da pravilno interpretiraju informacije koje oni prenose. Pored karakteristika samog znaka, na njegovu percepciju može uticati i vizuelno okruženje u

kojem je postavljen. U realnim uslovima saobraćajni znakovi predstavljaju deo složenog vizuelnog okruženja koje može sadržati različite objekte, vegetaciju i građevinske strukture. Veliki broj vizuelnih informacija može povećati složenost okruženja i otežati usmeravanje pažnje na saobraćajnu signalizaciju, što može dovesti do nepravovremenog ili pogrešnog uočavanja znakova.

Imajući navedeno u vidu, predmet ovog rada je ispitivanje percepcije i razumevanja saobraćajnih znakova u uslovima različite složenosti vizuelnog okruženja. Cilj rada je utvrđivanje nivoa razumevanja saobraćajnih znakova i ispitivanje povezanosti razumevanja sa tačnošću percepcije znakova u prostoru.

Istraživanje je podeljeno u dva dela. Prvi deo obuhvata analizu tačnosti percepcije saobraćajnih znakova u različitim vizuelnim okruženjima, dok drugi deo obuhvata anketno ispitivanje razumevanja saobraćajnih znakova kod različitih kategorija korisnika.

Rad je strukturiran u šest celina. Nakon uvoda i pregleda relevantne literature prikazani su rezultati istraživanja, njihova diskusija i zaključak.

2 PREGLED LITERATURE

Iako se vertikalnom saobraćajnom signalizacijom prenose informacije od krucijalnog značaja za realizovanje saobraćaja, vozači zapravo vrlo retko gledaju saobraćajne znakove. Prema istraživanju Costa i saradnici [1] vozači su pogledali 25,06%, a uspešno se prisetili svega 6,66% od ukupno 75 saobraćajnih znakova postavljenih duž puta od 8,34 km. Takođe, prema istraživanju Babić i saradnici [2], što su vozači upoznati sa rutom kojom voze, to manje pažnje posvećuju saobraćajnim znakovima. Rezultati pokazuju da prethodna upoznatost vozača sa samim saobraćajnim znakom znatno utiče na vreme potrebno za njegovu percepciju i razumevanje. Vozači koji poznaju znakove postižu bolje rezultate i osećaju manji stres [3]. Ova tvrdnja u skladu je sa rezultatima ispitivanja autora Babić i saradnici [4] koji navode da vozači koji nisu upoznati sa značenjem znaka gledaju češće u znak i provode više vremena fokusirani na njega. Pored prethodne upoznatosti vozača sa saobraćajnim znakom na njegovo razumevanje utiču i faktori poput uticaja karakteristika samog saobraćajnog znaka, karakteristika korisnika i uticaj okruženja [5].

Istraživanjem sprovedenim od strane Ben-Bassat [6] saobraćajni znakovi posmatrani su u vizuelno jednostavnom i u vizuelno složenom okruženju, gde je znak uklopljen u putnu scenu. Iako je znak znatno vidljiviji ukoliko se posmatra u vizuelno jednostavnom okruženju, više ispitanika je tačno odredilo namenu znaka kada je on bio uklopljen u putnu scenu, jer je tako kontekst znaka bio jasniji. S druge strane, brojna istraživanja pokazuju da različiti elementi poput bilborda, reklamnih materijala, drugih saobraćajnih znakova, ali i vremenskih nepogoda negativno utiču na percepciju saobraćajnih znakova [7],[8],[9]. Dakle, saobraćajni znakovi se prirodno moraju nalaziti u vizualno složenim okruženjima, problem u njihovoj percepciji se javlja kada je okruženje u kom se nalaze isuviše kompleksno.

3 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Istraživanje je sprovedeno u računarskim učionicama na Saobraćajnom fakultetu u Beogradu u popodnevnom časovima. Pre početka ispitanicima je objašnjen proces istraživanja i način popunjavanja ankete, a prikazan je i jedan video zapis koji se nije koristio u daljem istraživanju, kako bi se ispitanici lakše snašli.

Radi pouzdanijeg povezivanja podataka istraživanje je podeljeno na dva dela u okviru iste ankete. U prvom delu ankete našla su se pitanja socio-demografskog tipa, kao i pitanja u vezi sa vozačkom istorijom ispitanika. Takođe, postavljena su i pitanja o samoproceni poznavanja saobraćajnih znakova i samoproceni njihove razumljivosti. Odgovori o samoproceni su prezentovani u vidu Likertove petostepene skale, gde je ocena 1 označavala vrlo loše poznavanje ili razumljivost, dok je ocena 5 označavala vrlo dobro poznavanje ili razumljivost. Nakon toga, ispitanicima su projektovani video zapisi sa pratećim pitanjima. Ispitanici su imali instrukciju da svaki video zapis reprodukuju samo jedanput i da svoju pažnju preusmere onako kako bi da oni u datom trenutku upravljaju vozilom na prikazanoj trasi. Za potrebe istraživanja prikupljeni su video zapisi saobraćajnih znakova predstavljeni Tabelom 1. Svi video zapisi zabeleženi su na uličnoj mreži grada Beograda u dnevnim uslovima. Obuhvaćena su tri vizuelno jednostavnija i tri vizuelno složenija saobraćajna znaka. Svih šest znakova je zabeleženo u trima različitim vizuelnim okruženjima: jednostavnom, srednjem i složenom. Procena složenosti saobraćajnih znakova i okruženja izvršena je ekspertskom metodom. Takođe, na jednom (kontrolnom) video zapisu nije bilo saobraćajnih znakova. Nakon svakog video zapisa sledilo je pitanje „Koji saobraćajni znak ste prvo uočili?“, gde su ispitanicima ponuđeni odgovori dati tekstualno. Nakon toga sledilo je pitanje „Koje saobraćajne znakove ste još uočili?“, gde su odgovori dati u vidu slika. I za kraj ispitanici su ocenjivali složenost vizuelnog okruženja sa prikazanim video zapisom kao jednostavno, srednje ili složeno.

Drugi deo ankete ticao se razumevanja saobraćajnih znakova. Za svaki prikazani znak sledila su pitanja kojoj kategoriji znak pripada, a zatim i koje je njegovo značenje. Dodatno, za saobraćajni znak II-1 („Ustupanje prvenstva prolaza“) postavljeno je i pitanje o pravilnoj akciji nakon njegovog uočavanja. Takođe, postavljeno je i pitanje koji saobraćajni znak ima značenje „Zabrana saobraćaja za pešake“, gde je dat izbor između znaka preuzetog iz *Pravilnika o saobraćajnoj signalizaciji* i istog znaka sa dodatnom crvenom trakom.

Tabela 1: Saobraćajni znakovi korišćeni u istraživanju

Naziv saobraćajnog znaka	Slika	Vizuelna i/ili semantička složenost saobraćajnog znaka
<i>Put sa jednosmernim saobraćajem</i>		<i>Jednostavniji</i>
<i>Zabrana saobraćaja za motorna vozila u jednom smeru</i>		<i>Jednostavniji</i>
<i>Obavezan smer kretanja</i>		<i>Jednostavniji</i>
<i>Prepreka za usporavanje saobraćaja</i>		<i>Složeniji</i>
<i>Zabrana saobraćaja za vozila čija ukupna visina prelazi određenu visinu</i>		<i>Složeniji</i>
<i>Zabrana zaustavljanja i parkiranja</i>		<i>Složeniji</i>

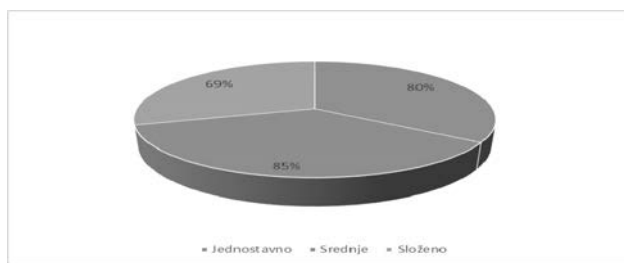
U istraživanju su učestvovali uglavnom studenti starosti između 20 i 27 godina. Uzorak je činilo 19 osoba ženskog pola i 16 osoba muškog pola. Najveći broj ispitanika, čak 66% navelo je srednju školu kao najviši završeni nivo obrazovanja, dok je 31% njih navelo osnovne studije i 3% višu školu. Važno je napomenuti da su većinu ispitanika predstavljali studenti Saobraćajnog fakulteta u Beogradu.

Nakon završetka prikupljanja podataka, odgovori su obrađeni korišćenjem softverskog programa Microsoft Excel. Prilikom obrade podataka korišćene su metode deskriptivne statistike.

4 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

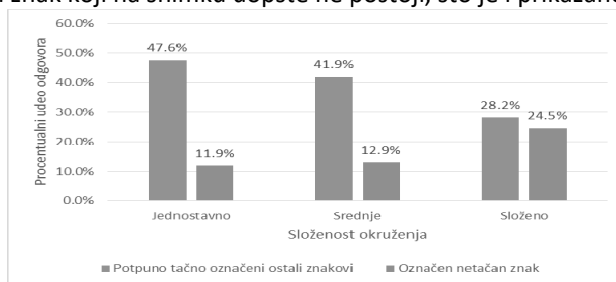
4.1 Uticaj vizuelne složenosti na percepciju saobraćajnih znakova

Možda bi se očekivalo da najveći broj tačnih odgovora imaju znakovi koji se nalaze u jednostavnom vizuelnom okruženju. Međutim, istraživanje pokazuje da ispitanici procentualno najviše tačnih odgovora na pitanje o tome koji saobraćajni znak su prvo uočili imaju u vizuelno srednje opterećenim okruženjima. Grafikom 1 prikazana je raspodela tačnih odgovora o prvom uočenom saobraćajnom znaku za različita vizuelna okruženja. Tačnost prvog uočenog znaka predstavlja tačnost uočavanja prvog znaka koji se na snimku pojavljuje.



Grafik 1: Procentualna tačnost prvog uočenog znaka u različitim okruženjima

Međutim, kada se posmatra pitanje o ostalim uočenim saobraćajnim znakovima, dobija se znatno jasnija i monotona slika. Prosečan udeo tačno uočenih znakova opada sa porastom složenosti okruženja, dok istovremeno raste udeo odgovora u kojima su ispitanici označili znak koji na snimku uopšte ne postoji, što je i prikazano na Grafiku 2.



Grafik 2: Procentualna raspodela tačno označenih ostalih i netačnih odgovora

Uticaj vizuelne složenosti okruženja na percepciju saobraćajnih znakova je posebno izražen na snimku na kome nije bilo nijednog saobraćajnog znaka. Iako je 71% ispitanika

tačno navelo da nije uočilo nijedan znak, 29% njih navelo je konkretan saobraćajni znak kao prvi uočen, a 34% ispitanika označilo je bar jedan nepostojeći znak i u pitanju o ostalim uočenim znakovima.

4.2 Povezanost razumevanja saobraćajnih znakova sa tačnošću njihove percepcije u prostoru

Rezultati pokazuju da ispitanici koji poznaju značenje znaka i tačnije opažaju taj znak u prostoru. Tačnost prvog uočenog znaka iznosi 76% kod onih koji znaju značenje, naspram 62% kod onih koji ga ne znaju. Najznačajniji nalaz je da se efekat poznavanja znaka najjasnije ispoljava upravo u složenim vizuelnim okruženjima. Raspodela tačnih odgovora u različitim uslovima složenosti okruženja prikazana je na Grafiku 3.



Grafik 3: Procentualna tačnost prvog uočenog znaka

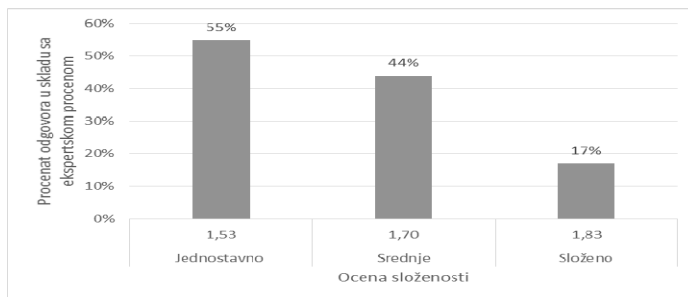
Kao grupa koja se posebno izdvaja pokazali su se ispitanici koji ne poznaju značenje znaka „Put sa jednosmernim saobraćajem". Taj znak je ujedno i najmanje poznat u celom uzorku. Svega 18 od 35 ispitanika (51%) tačno je navelo njegovo značenje, dok ga je 49% zamenilo znakom „Obavezan smer kretanja". Kod ove grupe tačnost prvog uočenog znaka iznosi 65% naspram 76% kod onih koji znaju značenje. Nesigurnost je vidljiva i na nivou kategorije, gde je samo 46% ispitanika tačno svrstalo znak „Obavezan smer kretanja" u znakove izričitih naredbi. Reč je o paru znakova koji su vizuelno srodni (plava podloga, bela strelica), ali sa različitim značenjem, što se direktno preslikava na greške u percepciji u prostoru.

Sa druge strane, znakovi čije je značenje poznato gotovo svim ispitanicima, kao što su „Prepreka za usporavanje saobraćaja" (94%) i „Zabrana zaustavljanja i parkiranja" (100%), istovremeno beleže i najviše prosečne tačnosti prvog uočenog znaka (92% i 86%).

4.3 Lični doživljaj složenosti okruženja

Nakon svakog video zapisa ispitanici su ocenjivali složenost prikazanog vizuelnog okruženja kao jednostavno, srednje ili složeno. Poređenje sa ekspertskom procenom pokazuje da subjektivna procena prati objektivnu složenost, ali sa izraženim pomeranjem ka nižim vrednostima.

Prosečna ocena složenosti (na skali 1 = jednostavno, 3 = složeno) raste sa objektivnom složenošću okruženja, međutim, slaganje sa ekspertskom procenom drastično opada (Grafik 4). Zanimljivo je i to da je čak 36% ispitanika okarakterisalo objektivno složena okruženja kao jednostavna.



Grafik 4: Samoprocena složenosti okruženja

Posebno se izdvaja grupa ispitanika koja je svoje poznavanje znakova ocenila ocenom 3, oni su složena okruženja ocenili najvišom prosečnom ocenom (2,21), znatno više nego ispitanici koji su svoje znanje ocenili ocenama 4 (1,74) ili 5 (1,82).

5 DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Analiza odgovora na pitanje o prvom uočenom saobraćajnom znaku pokazuje da je najveći procenat tačnih odgovora zabeležen u srednje složenim vizuelnim okruženjima (85%), zatim u jednostavnim okruženjima (80%), dok je najniža tačnost zabeležena u složenim okruženjima (69%). Ovakav redosled ukazuje na to da umerena količina vizuelnih sadržaja ne ometa nužno percepciju, već može i da usmeri pažnju vozača na saobraćajnu signalizaciju, dok tek izražena vizuelna zasićenost dovodi do pada tačnosti. Ovaj nalaz u skladu je i sa istraživanjem Ben-Bassat [6], gde je više ispitanika tačno odredilo namenu znaka kada se on našao u složenijem okruženju, odnosno kada je bio uklonjen u putnu scenu.

Kada je u pitanju procentualna raspodela tačno označenih ostalih i netačnih znakova, najlošiji rezultati zabeleženi su u složenom okruženju. Drugim rečima, u složenim okruženjima ispitanici ne samo da uočavaju manji broj prisutnih znakova, već gotovo dvostruko češće prijavljuju znakove kojih nema, što ukazuje na oslanjanje na očekivanja i prethodno iskustvo umesto na stvarno vizuelno opažanje.

U slučaju video snimka na kome se nije nalazio nijedan saobraćajni znak, 29% ispitanika je navelo konkretni saobraćajni znak kao prvi uočen, a 34% ispitanika označilo je bar jedan nepostojeći znak i u pitanju o ostalim uočenim znakovima. Vizuelno okruženje na pomenutom video zapisu jeste složeno, te ovaj nalaz potvrđuje da vizuelno zasićeno okruženje ne dovodi samo do izostanka opažanja, već i do lažno pozitivnih percepcija, što u realnim uslovima vožnje može biti jednako opasno kao i propuštanje znaka.

Što se tiče veze između poznavanja saobraćajnih znakova i tačnosti njihove percepcije u prostoru, rezultati su pokazali da ispitanici koji poznaju značenje znaka i tačnije opažaju taj znak u prostoru. Ovaj zaključak u skladu je sa istraživanjem Liu [3] koje navodi da ispitanici koji poznaju značenje znaka postižu bolje rezultate prilikom njihovog uočavanja.

Razlike u procentima tačnih odgovora kod ispitanika koji poznaju i ne poznaju posmatrani saobraćajni znak manje su za jednostavno i srednje vizuelno okruženje nego što je to slučaj u složenom okruženju. Dakle, može se reći da poznavanje znakova ne donosi bitnu prednost kada je znak lako uočljiv, ali postaje vrlo značajno kada okruženje otežava opažanje. Takođe, znakovi čije je značenje poznato gotovo svim ispitanicima beleže i najviše prosečne tačnosti prvog uočenog znaka. Ovo dodatno potvrđuje

pretpostavku da postoji pozitivna veza između nivoa razumevanja saobraćajnog znaka i tačnosti njegove percepcije u prostoru.

Zabeleženo je i da slaganje ispitanika sa ekspertskom procenom složenosti okruženja drastično opada, a čak 36% ispitanika okarakterisalo je objektivno složena okruženja kao jednostavna. Ovaj nalaz je od suštinskog značaja za interpretaciju rezultata iz poglavlja 4.1: ispitanici u složenim okruženjima objektivno lošije opažaju znakove, ali toga nisu svesni. Takođe, kada je u pitanju samoprocena složenosti okruženja, zabeleženo je da ispitanici koji su manje sigurni u svoje znanje realnije procenjuju težinu vizuelnog okruženja, dok oni koji sebi pripisuju visoko poznavanje znakova sistematski potcenjuju složenost prostora u kome se kreću.

Ograničenja ovog istraživanja odnose se prvenstveno na veličinu uzorka, kao i na izostanak primene savremenih tehnologija, poput uređaja za praćenje pokreta očiju i simulatora vožnje. Dobijeni rezultati ukazuju na značaj prilagođavanja vizuelnog okruženja u kojem su saobraćajni znakovi postavljeni, kao i na potrebu unapređenja znanja učesnika u saobraćaju o njihovom značenju. Takođe, nalazi ukazuju na potrebu sprovođenja daljih sistematskih istraživanja usmerenih na ispitivanje razumevanja i percepcije saobraćajnih znakova.

LITERATURA

- [1] Costa, M., Simone, A., Vignali, V., Lantieri, C., Bucchi, A., & Dondi, G. (2014). Looking behavior for vertical road signs. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 23, 147-155.
- [2] Babić, D., Babić, D., & Šćukanec, A. (2017). The impact of road familiarity on the perception of traffic signs - Eye tracking case study. *International Conference "Environmental Engineering"*.
- [3] Liu, Y. (2005). A simulated study on the effects of information volume on traffic signs, viewing strategies and sign familiarity upon driver's visual search performance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(12), 1147-1158
- [4] Babić, D., Dijanić, H., Jakob, L., Babić, D., & Garcia-Garzon, E. (2020). Driver eye movements in relation to unfamiliar traffic signs: An eye tracking study. *Applied Ergonomics*, 89, 103191.
- [5] Novaković, A., Trpković, A., Čubranić-Dobrodolac, M., & Komarica, J. (2026). ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING THE UNDERSTANDING OF TRAFFIC SIGNS. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 72(5), 173-182.
- [6] Ben-Bassat, T. (2013). The effect of context and ergonomic design of traffic signs on driver comprehension - A preliminary evaluation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 57(1), 1943-1947.
- [7] Porathe, T., & Strand, L. (2011). Which sign is more visible? Measuring the visibility of traffic signs through the conspicuity index method. *European Transport Research Review*, 3, 35-45.
- [8] Yared, T. (2024). Drivers' ability to detect traffic signs on curves with the presence of clutter in the visual field: A systematic review. *Transportation Research Record*, 2678(10), 1110-1122.
- [9] Rocabado, F., Alonso-Bernal, N., & Duñabeitia, J. A. (2025). Word recognition during movement under simulated weather conditions. *PLoS ONE*, 20(7), e0326945.

SUMMARY**Impact of Visual Environmental Complexity on the Perception and Comprehension of Traffic Signs**

Abstract: The comprehension and accurate perception of traffic signs are essential prerequisites for appropriate behaviour and decision-making by drivers in traffic. In this context, it is necessary for drivers, as well as other road users, to accurately detect and correctly interpret the traffic signs and signals provided.

One of the key challenges in the process of traffic sign perception in urban environments is the complexity of the surroundings in which the signs are placed. Advertising content (billboards, LED displays, and other digital displays), elements of urban infrastructure (street lighting poles and overpasses), vegetation, temporary traffic signs, and other visual distractors may significantly reduce the conspicuity of traffic signs and increase drivers' response times.

The aim of this paper is to examine the impact of visual environmental complexity on the perception of traffic signs, as well as to analyse the relationship between the level of traffic sign comprehension and the speed of their perception within the environment. The research was conducted in two parts: the first part focused on analysing traffic sign comprehension, while the second part examined traffic sign perception in visual environments of varying levels of complexity.

The research results indicate a negative impact of visual clutter in urban environments on traffic sign perception and highlight the need for further empirical research. The findings may provide a basis for improving spatial planning, coordinating responsibilities in infrastructure management, and enhancing the regulatory framework. Furthermore, the results may contribute to improving traffic sign design, implementing educational campaigns, and raising awareness among road users.

Keywords: traffic signs, visual complexity, perception, traffic sign comprehension

Analiza zakonske regulative, regulisanja saobraćaja i projektovanja prelaza biciklističkih staza preko kolovoza u Republici Srbiji

Marko Milošević, MHM-projekt d.o.o., Novi Sad, marko.milosevic@mhm-projekt.rs

Teodora Bajević, MHM-projekt d.o.o., Novi Sad, teodora.bajevic@mhm-projekt.rs

Ružica Kalamanda, MHM-projekt d.o.o., Novi Sad, ruzica@mhm-projekt.rs

Naser Mostafa, MHM-projekt d.o.o., Novi Sad, naserm10@gmail.com

Biljana Peković, MHM-projekt d.o.o., Novi Sad, biljanapekovic1@gmail.com

Rezime: U proteklom periodu prisutan je trend razvoja biciklističkog saobraćaja, posebno na teritoriji AP Vojvodine, kako kroz razvijanje i vođenje međunarodnih biciklističkih ruta kroz Republiku Srbiju, tako i kroz izgradnju nove i održavanje postojeće biciklističke infrastrukture. Razvoj biciklističkog saobraćaja sa sobom donosi i određene benefite, kao što su poboljšanje opšteg zdravlja stanovništva kroz povećanje fizičke aktivnosti, rasterećenje saobraćajnica, smanjenje buke i emisije štetnih gasova, povećanje bezbednosti i dr. Biciklističke staze predstavljaju površine namenjene za kretanje biciklista koje su fizički odvojene od površina namenjenih za kretanje motornih vozila, čime se smanjuju konfliktne tačke sa motornim vozilima. Međutim, konfliktne tačke nije moguće u potpunosti eliminisati, budući da se javljaju na mestima ukrštanja biciklističkih staza i kolovoza. Iz ovog razloga, zonama prelaza biciklističkih staza preko kolovoza potrebno je posvetiti posebnu pažnju, kako pri definisanju pravila prvenstva prolaza, tako i pri izradi tehničke dokumentacije u skladu sa definisanim pravilima. U Republici Srbiji se, za potrebe regulisanja i projektovanja prelaza biciklističke staze preko kolovoza, primenjuju Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima, Zakon o putevima i Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji. Analizom Zakonske regulative može se zaključiti da je ukrštaj biciklističke staze i kolovoza definisan kao raskrsnica, odnosno kao ukrštaj dva puta, dok pravilima saobraćaja nije jasno definisan prioritet kretanja u slučajevima kada je reč o obeležavanju prelaza biciklističkih staza preko kolovoza. Kao posledica toga, u praksi se prelaz biciklističke staze preko kolovoza često tretira na način karakterističan za pešačke prelaze, dok se ukrštaj biciklističke staze i kolovoza ne tretira kao raskrsnica, što je u skladu sa logikom koja se primenjuje u zonama pešačkih prelaza, ali nije u skladu sa zakonskom regulativom. Cilj rada je da se na osnovu analize postojeće zakonske regulative i projektantske prakse, uz identifikovanje nedovoljno definisanih pravila koja dovode do različitih projektantskih pristupa u projektovanju prelaza biciklističkih staza preko kolovoza, predlože smernice za unapređenje zakonske regulative i projektantskih rešenja.

Ključne reči: prelaz biciklističke staze preko kolovoza, zakonska regulativa, raskrsnica, tehnička dokumentacija

1 UVOD

Razvoj biciklističkog saobraćaja zahteva strateško planiranje na nacionalnom nivou, pri čemu izveštaji Evropske komisije¹ potvrđuju da države sa definisanim strategijama beleže veći udeo korišćenja bicikla u svakodnevnim putovanjima. Korišćenje bicikla donosi brojne ekonomske, ekološke i saobraćajne prednosti: poboljšanje opšteg zdravlja stanovništva kroz povećanje fizičke aktivnosti, energetske efikasnost, smanjenje buke i štetnih gasova, niže troškove infrastrukture i održavanja, manja zagušenja i povoljnije uslove parkiranja.

Osim strateškog planiranja na nacionalnom nivou, sve veći udeo korišćenja bicikla u svakodnevnim putovanjima zahteva i posvećenost u projektovanju i održavanju biciklističke infrastrukture. Iako se primenom principa segregacije značajno smanjuju konfliktne tačke sa motornim vozilima, one se ne mogu u potpunosti eliminisati na mestima ukrštanja sa kolovozom. Zbog toga je, kroz jednoznačno definisanje pravila ponašanja učesnika u saobraćaju, ovim zonama neophodno posvetiti posebnu pažnju.

2 ANALIZA POSTOJEĆE ZAKONSKE REGULATIVE

U ovom poglavlju analizirana je postojeća zakonska regulativa koja definiše pojmove značajne za regulisanje ukrštanja biciklističke staze i kolovoza. Analiza obuhvata Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima, Zakon o putevima i Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji.

Pored navedenih propisa, analiziran je i Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji⁵, poglavlje 5.6 Biciklističke površine, objavljen od strane JP Putevi Srbije 2012. godine. Iako nema istu pravnu prirodu kao zakon i podzakonski akt, Priručnik je važan stručni dokument za oblikovanje biciklističkih površina, vođenje biciklista kroz raskrsnice i označavanje konfliktnih zona.

Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima² u okviru *II Osnovna načela bezbednosti saobraćaja na putevima*, član 7 definiše osnovne pojmove koji su značajni za predmetnu analizu. **Put** predstavlja izgrađenu, odnosno utvrđenu površinu koja se kao saobraćajna površina može koristiti od strane svih ili određenih učesnika u saobraćaju, pod uslovima utvrđenim zakonom i drugim propisima. **Kolovoz** predstavlja deo puta prvenstveno namenjen za kretanje vozila, dok je **biciklistička staza** definisana kao put namenjen isključivo za kretanje bicikala i lakih električnih vozila. **Bicikl** je definisan kao vozilo sa najmanje dva točka koje se pokreće snagom vozača, odnosno putnika, koja se pomoću pedala ili ručica prenosi na točak, odnosno točkove, dok se **vozilo** definiše kao sredstvo koje je po konstrukciji, uređajima, sklopovima i opremi namenjeno i osposobljeno za kretanje po putu. **Raskrsnica** se definiše kao deo kolovoza na kome se ukrštaju, spajaju ili razdvajaju putevi u istom nivou.

Ponašanje, odnosno obaveze vozača u odnosu na bicikliste kao ranjivu kategoriju učesnika u saobraćaju, isti zakon propisuje u okviru člana 47, gde se definiše prvenstvo prolaza za sve učesnike u saobraćaju, a biciklistima daje prednost u odnosu na vozila koja pri skretanju presecaju biciklističku stazu / traku: „Vozač koji pri skretanju preseca biciklističku stazu, odnosno traku, dužan je da propusti vozila koja se kreću stazom, odnosno trakom”.

Poređenja radi, značajno je istaći da isti zakon (ZOBS), članom 99, detaljnije definiše obaveze vozača prema pešacima na obeleženom pešačkom prelazu. **Zakon o putevima**³, u okviru *I Osnovne odredbe, član 2*, definiše da je **put** građevinski objekat namenjen za saobraćaj, odnosno utvrđena površina koju kao saobraćajnu površinu mogu da koriste svi ili određeni učesnici u saobraćaju, pod uslovima određenim ovim zakonom i drugim propisima. **Biciklistička staza** je definisana kao put namenjen za kretanje bicikala, dok je **raskrsnica** definisana kao mesto na kojem se ukrštaju, spajaju, odnosno razdvajaju saobraćajni tokovi na najmanje dva puta u istom ili različitim nivoima.

Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji⁴, deo *Postavljanje znakova izričitih naredbi, član 32* definiše da se **znakovi izričitih naredbi** moraju ponovo postaviti posle svake raskrsnice sa drugim putem, na putu na kome je takav znak postavljen, ako izričita naredba važi i posle navedene raskrsnice. Deo *Prelaz biciklističke staze preko kolovoza, član 66* definiše da se **prelaz biciklističke staze preko kolovoza** obeležava na putu oznakom: "prelaz biciklističke staze preko kolovoza" (V-5), koji predstavlja deo površine kolovoza namenjen za prelaz biciklista. Prelaz **biciklističke staze preko kolovoza i pešački prelaz**, obeležava se oznakom "prelaz biciklističke staze preko kolovoza i pešački prelaz" (V-6), koji predstavlja deo površine kolovoza namenjen za prelaz biciklista i pešaka.

U zakonima ne postoji definicija prelaza biciklističke staze preko kolovoza, niti prelaza biciklističke staze preko kolovoza sa pešačkim prelazom, dok ih Pravilnik definiše kao deo kolovoza. Pored ovoga, ne postoji jasna obaveza za zaustavljanje ili prilagođavanje brzine vozilima koja se kreću kolovozom ispred obeleženog biciklističkog prelaza kako bi propustili bicikliste kao što je to definisano u slučaju nailaska na pešački prelaz.

Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji⁵ ukrštanje biciklističkih površina sa drugim saobraćajnim površinama izdvaja kao posebnu projektantsku temu. Kao osnovne uslove bezbednog rešenja navodi jasno i nedvosmisleno direktno ili indirektno vođenje biciklističkog saobraćaja, položaj putanje bicikliste u vidnom polju vozača, razumljivo obeležavanje prvenstva prolaza, obezbeđenu preglednost i jasno označeno mesto ukrštanja. Za bolju uočljivost konfliktnog mesta preporučuje se i bojenje biciklističke površine u zoni ukrštanja. Time Priručnik potvrđuje osnovnu postavku ovog rada da sam grafički prikaz prelaza nije dovoljan ako učesnicima nije jednoznačno saopšten režim prvenstva.

Priručnik ipak ne otklanja normativnu nejasnoću koja je predmet rada. On daje smernice za bezbedno oblikovanje i obeležavanje ukrštaja, ali se prvenstvo mora utvrditi u skladu sa propisima. Može doprineti ujednačavanju geometrije, preglednosti i vođenja biciklista, ali ne može zameniti preciznu odredbu o međusobnim obavezama učesnika. Razlika između stručne preporuke i obavezujuće norme objašnjava zašto se i pored Priručnika u praksi pojavljuju različita rešenja.

Zakonska regulativa definiše biciklističku stazu kao put, bicikl kao vozilo, a biciklistu kao vozača, dok je raskrsnica definisana kao ukrštaj dva puta. Ovo dovodi do zaključka da se ukrštaj biciklističke staze i puta definiše kao raskrsnica na kojoj učestvuju vozači različitih vrsta vozila, tj. biciklista koji je definisan kao vozač i vozač motornog vozila.

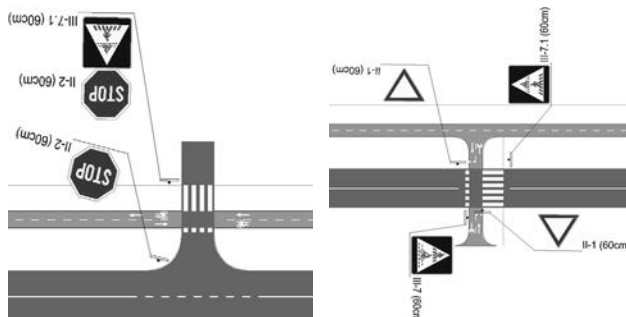
Kako je bicikl vozilo, biciklistička staza put, a pomenuti ukrštaj raskrsnica, u svim ostalim slučajevima, ako se pravila saobraćaja na ukrštaju ne regulišu saobraćajnim znakovima, na ukrštaju važi pravilo desne strane. Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji propisuje da važnost znakova izričitih naredbi prestaje nakon prve sledeće raskrsnice,

znakovi II-1 ili II-2 se ne mogu postaviti pre ukrštaja biciklističke staze i sporednog puta, a da važe i za ukrštaj biciklističke staze i za sporedni put. Znak mora da se postavi pre ukrštaja biciklističke staze, a nakon toga i pre raskrsnice sporednog i glavnog puta, što je u skladu sa definisanim pravilima o postavljanju znakova izričitih naredbi.

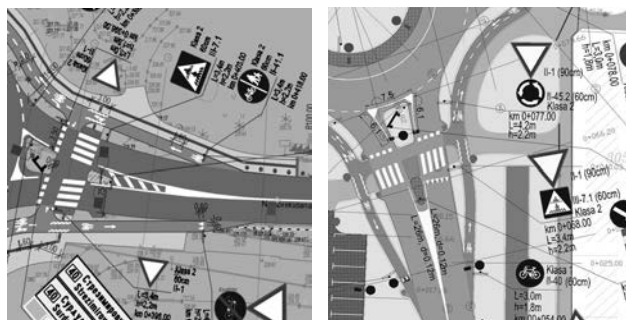
Drugi način regulisanja prelaza biciklističke staze preko kolovoza je na način da se vozilima da prednost prolaska, postavljanjem znakova II-1 ili II-2 na biciklističkim stazama, ispred mesta ukrštanja sa kolovozom.

3 REGULISANJE SAOBRAĆAJA I PROJEKTOVANJE PRELAZA BIKIKLISTIČKIH STAZA PREKO KOLOVOZA U REPUBLICI SRBIJI

Primenom zakonske regulative čije su odredbe nedovoljno precizno definisane dolazi do toga da u tehničkim dokumentacijama, ali i na terenu, imamo različita tumačenja u regulisanju ukrštaja biciklističke staze i kolovoza. Kao posledica toga dolazi do projektovanja prelaza biciklističke staze preko kolovoza na sledeće načine (Slika 1 i Slika 2):



Slika 1: Primer regulisanja saobraćaja na ukrštaju biciklističke staze i kolovoza (trokraka raskrsnica)



Slika 2: Primer regulisanja saobraćaja na ukrštaju biciklističke staze i kolovoza (kružna raskrsnica)

Posledica nedovoljno precizno definisane zakonske regulative dovodi do toga da se u zavisnosti od tumačenja projektanta, investitora ili upravljača puta, u sličnim situacijama primenjuju različita rešenja regulisanja saobraćaja na ukrštanju biciklističke staze i kolovoza.

4 SMERNICE ZA UNAPREĐENJE ZAKONSKE REGULATIVE I PROJEKTANTSKIH REŠENJA

Predmetna analiza upućuje na potrebu za preciznijim definisanjem pravila regulisanja na ukrštaju biciklističke staze i kolovoza, kao i na ukrštaju kombinovane biciklističke i pešačke staze i kolovoza.

U okviru unapređenja zakonske regulative i projektantskih rešenja predlažu se tri pravca delovanja:

4.1 Projektantska rešenja do izmene zakonske regulative

Do izmene zakonske regulative, odgovarajućim saobraćajnim znakovima i oznakama na putu, potrebno je jasno i nedvosmisleno definisati prvenstvo prolaza na ukrštajima biciklističkih staza i kolovoza.

Ukoliko se prvenstvo prolaza daje vozilima na putu, projektovati saobraćajne znakove II-1 ili II-2 na biciklističkim stazama, kojima biciklista dobija naredbu da mora propustiti vozilo na putu. U suprotnom, ukoliko se prvenstvo daje biciklistima, pomenute znakove predvideti na putu, ispred ukrštaja sa biciklističkom stazom.

U slučaju da se nakon ukrštaja sa biciklističkom stazom, put ukršta sa drugim putem, znak za ustupanje prvenstva prolaza se mora ponoviti u skladu sa pravilima o važenju znakova izričitih naredbi. U ovom slučaju, rešenje se u potpunosti usklađuje sa postojećom legislativom, a ujedno se obezbeđuje i ujednačenost projektantskih rešenja.

Pri izboru konkretnog rešenja potrebno je primeniti i bezbednosne kriterijume iz Priručnika⁵, biciklistu voditi jasno i bez naglih promena putanje, mesto ukrštanja smestiti u zonu dovoljne preglednosti, obezbediti da smer njegovog kretanja bude u vidnom polju vozača i nedvosmisleno označiti režim prvenstva. Bojenje biciklističke površine može se koristiti kao mera povećanja uočljivosti konfliktnog mesta, ali ono samo po sebi ne uspostavlja prvenstvo prolaza i ne može zameniti propisanu vertikalnu i horizontalnu signalizaciju.

4.2 Izmena zakonske regulative

Izmena zakonske regulative predstavlja preduslov za jasno definisanje pravila prvenstva prolaza na ukrštajima biciklističke staze i kolovoza. Ovde se mogu primeniti dva pristupa:

Prvi pristup se ogleda u izjednačavanju biciklista sa pešacima u pogledu ostvarivanja prava prvenstva prolaza na obeleženim mestima prelaska preko kolovoza. U tom slučaju bi se, analogno obavezama vozača prema pešacima propisanim članom 99 ZOBs-a, vozačima koji se približavaju obeleženom prelazu biciklističke staze preko kolovoza propisala obaveza da prilagode brzinu vozila tako da mogu bezbedno da se zaustave i propuste bicikliste koji su već stupili na prelaz, stupaju na njega ili jasno pokazuju nameru da pređu kolovoz. Navedena obaveza primenjivala bi se i na kombinovanim pešačko-biciklističkim prelazima, čime bi se pravila ponašanja učesnika učinila jasnijim i smanjila mogućnost različitog tumačenja prava prvenstva prolaza u praksi.

Drugi pristup se ogleda u usvajanju Evropske prakse, gde bi se prvenstvo prolaza definisalo u odnosu na funkciju puta, okruženje, veličinu protoka biciklističkog i motornog saobraćaja i značaj biciklističke infrastrukture. U pojedinim Evropskim državama, pravo prvenstva biciklističke staze se prilagođava saobraćajnici uz koju se pruža, okruženju i

očekivanom protoku biciklista, odnosno konkretnoj situaciji. U urbanim sredinama gde se javlja povećan broj biciklista i na značajnijim biciklističkim rutama, pravo prvenstva dobijaju biciklisti, dok se van naselja biciklistička staza posmatra kao sastavni deo puta uz koji se pruža, pa u tom kontekstu i prvenstvo prolaza biciklističke staze prati prvenstvo prolaza puta. U slučajevima kada biciklistička staza prelazi preko puta koji ima prvenstvo (glavni put ili put višeg ranga), biciklistima se najčešće ukida pravo prvenstva prolaza, imajući u vidu funkciju takve saobraćajnice, kao i potrebu da se vozačima obezbedi očekivan režim saobraćaja.

4.3 *Institucionalno i stručno unapređenje oblasti biciklističkog saobraćaja*

Pored navedenog, kao jedan od mogućih pravaca institucionalnog unapređenja može se razmotriti uspostavljanje odgovarajućeg tela za koordinaciju razvoja biciklističkog saobraćaja na nivou Republike Srbije. Jedan od njegovih zadataka trebalo bi da bude sistematsko praćenje primene postojećeg Priručnika,⁵ njegovo periodično ažuriranje i usklađivanje sa izmenama propisa i savremenim projektantskim saznanjima. Umesto izrade potpuno novog dokumenta, opravdano je postojeći Priručnik dopuniti tipskim rešenjima prelaza biciklističkih staza preko kolovoza, kriterijumima za izbor direktnog ili indirektnog vođenja, načinom određivanja prvenstva prolaza i primerima primene signalizacije u karakterističnim situacijama. Tako dopunjen dokument trebalo bi jasno povezati sa obavezujućim propisima, kako bi se razgraničilo šta predstavlja zakonsku obavezu, a šta stručnu preporuku. Istovremeno je potrebno formirati i održavati jedinstven katastar biciklističke infrastrukture i bazu podataka o intenzitetu saobraćaja, konfliktnim lokacijama i značajnim rutama, uz mogućnost dostavljanja zapažanja stručne i šire javnosti.

5 ZAKLJUČAK

Razvoj biciklističkog saobraćaja nameće potrebu za jasnim pravilima posebno u zonama ukrštanja biciklističkih staza i kolovoza.

Analizom važeće zakonske regulative utvrđeno je da, na ovim mestima, pravila prvenstva prolaza nisu jasno definisana. Dugoročno posmatrano, potrebno je unaprediti zakonsku regulativu i jasno definisati kriterijume na osnovu kojih se određuje prvenstvo prolaza uzimajući u obzir iskustva evropskih država. Do tada, problem je moguće prevazići doslednom primenom odgovarajuće saobraćajne signalizacije i važeće legislative.

Analiza Priručnika Puteva Srbije pokazuje da u domaćoj stručnoj dokumentaciji već postoje važni projektantski zahtevi koji se odnose na preglednost, jasno vođenje biciklista, uočljivost konfliktne zone i razumljivo obeležavanje prvenstva prolaza. Ipak, pošto Priručnik ne može zameniti pravnu normu, ostaje potreba da se propisima jednoznačno utvrde međusobne obaveze biciklista i vozača motornih vozila. Unapređenje oblasti zato treba zasnivati na dva paralelna pravca: preciziranju zakonske regulative i ažuriranju postojećeg Priručnika tipiziranim rešenjima koja će omogućiti ujednačenu primenu u tehničkoj dokumentaciji i na terenu.

LITERATURA

- [1] Special Eurobarometer 422a: Quality of transport
https://data.europa.eu/data/datasets/s2017_82_2_422a_422b?locale=en
- [2] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima, ("Sl. glasnik RS", br. 41/2009, 53/2010, 101/2011,

32/2013 - odluka US, 55/2014, 96/2015 - dr. zakon, 9/2016 - odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - dr. zakon, 87/2018, 23/2019, 128/2020 - dr. zakon, 76/2023 i 19/2025).

[3] Zakon o putevima, ("Sl. glasnik RS", br. 41/2018, 95/2018 - dr. zakon i 92/2023 - dr. zakon).

[4] Pravilnik o saobraćajnoj signalizaciji, ("Sl. glasnik RS", br. 85/2017, 14/2021 i 21/2024).

[5] JP Putevi Srbije, Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji, 5. Funkcionalni elementi i površine puteva, 5.6 Biciklističke površine, Beograd, 2012.

SUMMARY

Analysis of Legal Regulations, Traffic Regulation, and Design of Cycling Path Crossings over Roadways in the Republic of Serbia

Abstract: In recent years, there has been a growing trend in cycling development, particularly in the territory of the Autonomous Province of Vojvodina, both through the development and routing of international cycling routes across the Republic of Serbia and through the construction of new and maintenance of existing cycling infrastructure. The development of cycling brings a number of benefits, such as improving the general health of the population through increased physical activity, reducing traffic congestion, reducing noise and harmful gas emissions, improving road safety, and others. Cycling paths are surfaces intended for the movement of cyclists that are physically separated from surfaces intended for motor vehicle traffic, thereby reducing conflict points with motor vehicles. However, conflict points cannot be completely eliminated, as they occur at locations where cycling paths intersect roadways. For this reason, particular attention should be paid to areas where cycling paths cross roadways, both when defining right-of-way rules and when preparing technical documentation in accordance with the established rules. In the Republic of Serbia, the regulation and design of cycling path crossings over roadways are governed by the Law on Road Traffic Safety, the Law on Roads, and the Rulebook on Traffic Signalization. An analysis of the legal framework indicates that the intersection of a cycling path and a roadway is defined as an intersection, i.e. as the crossing of two roads, while the traffic rules do not clearly define the priority of movement in cases involving the marking of cycling path crossings over roadways. Consequently, in practice, cycling path crossings over roadways are often treated in a manner characteristic of pedestrian crossings, while the intersection of a cycling path and a roadway is not treated as an intersection. The aim of this paper is, based on an analysis of the existing legal framework and design practice, and by identifying insufficiently defined rules that lead to different design approaches in the design of cycling path crossings over roadways, to propose guidelines for improving the legal framework and design solutions.

Key words: cycling path crossing over a roadway, legal framework, intersection, technical documentation

Вожња у супротном смеру на мрежи државних путева највишег реда и одговарајуће контра-мере

*Стефан Анђелковић, Саобраћајни институт ЦИП, Београд,
stefan.andjelkovic@sicip.co.rs*

*Александар Радосављевић, Саобраћајни институт ЦИП, Београд,
asa.radosavljevic@sicip.co.rs*

*Никола Глишовић, Саобраћајни институт ЦИП, Београд,
nikola.glisovic@sicip.co.rs*

*Петар Ђапић, Саобраћајни институт ЦИП, Београд,
petar.djapic@sicip.co.rs*

Резиме: Вожња у супротном смеру представља критичан изазов безбедности саобраћаја који може да резултира тешким последицама, као и смртним исходом по учеснике у саобраћају. Наведени проблем је постао нарочито актуелан у Републици Србији услед повећане учесталости инцидента на ауто-путевима и мото-путевима. Фактори ове појаве су комплексни и обухватају фактор човека: попут утицаја алкохола, старости, непажње, конфузије возача и друштвених изазова; али и временске факторе, као и одређене инфраструктурне недостатке који се тичу геометрије и опремљености пута. Последице оваквог кретања на путевима са великим брзинама су често фаталне, пре свега због директних чеоних судара који доминирају у овим ситуацијама. У раду се анализира ефикасност следећих категорија контрамера: унапређење решења саобраћајних знакова, ознака на коловозу и примена интелигентних транспортних система (ИТС). Посебан фокус стављен је на ИТС решења, укључујући детекцију и упозорења путем VMS знакова и LED трептача, која су у међународној пракси показала значајно смањење броја инцидента. Рад нуди преглед могућности за примену системских решења ради очувања људских живота на најважнијим путним правцима.

Кључне речи: вожња у супротном смеру, безбедност саобраћаја, чеони судари, интелигентни транспортни системи (ИТС)

1 УВОД

Вожња у супротном смеру представља кретање возила саобраћајном траком у смеру супротном од прописаног тока саобраћаја на путевима са разделном траком (или разделним појасом), као и на приступним рампама денивелисане раскрснице. Наведена појава се у оквиру ИТС-а класификује као неочекивани догађај и ванредна ситуација (инцидент) која може довести до негативних ефеката на безбедност и ефикасност саобраћаја.

Иако се вожња у супротном смеру ретко догађа, ова појава представља значајан проблем безбедности саобраћаја, првенствено због чињенице да су (чеони) судари изазвани вожњом у супротном смеру међу најтежим саобраћајним незгодама, како

по тежини повреда учесника незгоде, а тако и по укупним друштвено-економским последицама.

У складу са концептом „Визија нула“ и циљем смањења броја погинулих и тешко повређених лица за 50% до 2030. године, спречавање вожње у супротном смеру на државним путевима највишег реда представља важан сегмент унапређења безбедности саобраћаја. [1]

Према Делегираној уредби Комисије ЕУ бр. 886/2013, информација о „возачу у супротном смеру“ (*wrong-way driver*) класификована је као део минималног скупа универзалних информација о безбедности саобраћаја које су релевантне за кориснике пута, где се такве информације морају пружити крајњим корисницима, када год је то могуће. Такође, прописано је да се ове безбедносно критичне информације морају достављати корисницима приоритетно, пре било којих других информација које нису везане за безбедност саобраћаја (попут времена путовања или општих услова у саобраћајном току). [2]

Циљ овог рада је анализа фактора који доприносе појави вожње у супротном смеру и ефикасности инжењерских контра-мера, обухватајући и савремена ИТС решења, која би се могла применити на државним путевима највишег реда Републике Србије.

2 ФАКТОРИ КОЈИ ДОПРИНОСЕ ВОЖЊИ У СУПРОТНОМ СМЕРУ

У наставку су приказане кључне групе фактора које су бројним међународним истраживањима идентификоване као значајне за појаву вожње у супротном смеру и саобраћајних незгода насталих као последица таквог понашања. Ови фактори обухватају фактор човека, временске факторе, као и факторе пута који се тичу геометрије и опремљености пута.

Фактор човек је доминантан узрок у око 95% саобраћајних незгода, а код вожње у супротном смеру он има одређене специфичне карактеристике: [1]

- Утицај алкохола и старост возача: Употреба алкохола представља један од најзначајнијих фактора ризика, будући да је код око 60% возача који су се кретали у супротном смеру утврђено присуство алкохола. [3]
Поред тога, старост возача такође игра важну улогу, где су старији возачи (65+), услед смањених когнитивних способности и дезоријентације, и до седам пута ризичнији за овакве инциденте, док је код млађих возача (испод 25 година) вожња у супротном смеру најчешће последица неискуства и вожње под утицајем алкохола, посебно ноћу. [4]
- Психолошки фактори попут непажње, конфузије и умора возача значајно доприносе појави вожње у супротном смеру, док присуство сувозача, према истраживањима, може имати превентивни ефекат. [4]
- Друштвени фактори: Поред ненамерних грешака, присутни су и негативни друштвени утицаји, који обухватају ризична понашања мотивисана изазовима, опкладама или избегавањем застоја.

Учесталост вожње у супротном смеру је директно повезана са периодом дана, као и даном у недељи:

- Ноћни услови вожње: Истраживања показују да се око 70% незгода узрокованих вожњом у супротном смеру догоди ноћу (18:00–06:00),

нарочито викендом, при чему се већина незгода дешава на сувом коловозу и по ведром времену. [4]

Геометрија пута и инфраструктурни елементи пута могу допринети погрешном скретању у супротан смер и настанку незгоде или инцидентне ситуације:

- Тип денивелисане раскрснице: Истраживања показују да је повећан ризик од уласка у супротан смер присутан на денивелисаним раскрсницама типа „ромб“ и „делимична детелина“, где су уливне и изливне рампе често постављене једна уз другу. У недостатку адекватног физичког раздвајања и каналисања саобраћајних токова, дезоријентисан возач може погрешно ући на изливну рампу и започети кретање у супротном смеру. [3]
- Саобраћајна сигнализација и опрема: Непостојање сигнализације, неадекватно постављена или недовољно уочљива саобраћајна сигнализација и ознаке на коловозу могу значајно допринети настанку војње у супротном смеру. Ризик је посебно изражен на петљама и рампама са избледелим ознакама, недовољним бројем знакова или лошом осветљеношћу, нарочито током ноћи и у условима смањене видљивости. [3]
- Видљивост сигнализације: Знакови код којих је доња ивица знака превисоко од тла (преко 1,5m) остају ван светлосног снопа фарова, у ноћним условима, посебно када су возачи под стресом, утицајем алкохола, фокусирани искључиво на коловоз испред. [3]

3 ИСТРАЖИВАЊА СПРОВЕДЕНА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

Војња у супротном смеру представља све израженији изазов безбедности саобраћаја у Републици Србији. Према доступним подацима Агенције за безбедност саобраћаја Републике Србије, у периоду од 2021. до 2025. године на државним путевима IА реда евидентирано је укупно 12 саобраћајних незгода које су, према типу незгоде и евидентираним утицајним факторима, повезане са војњом у супротном смеру кретања. У овим незгодама живот је изгубило 5 лица, 10 лица је задобило тешке телесне повреде, а 12 лица лаке телесне повреде. [5]

Поред наведеног, од почетка 2026. године до краја августа исте године, на државним путевима IА и IМ реда евидентирано је више од 18 инцидената повезаних са војњом у супротном смеру. У истом периоду догодила се и саобраћајна незгода са погинулима на аутопуту А8 Рума–Шабац.

Посебно забрињава инцидент који се догодио у фебруару 2026. године на аутопуту А2 „Милош Велики“ у зони тунела Бранчић. Након саобраћајне незгоде у тунелу и формирања колоне испред тунела, поједини возачи су окренули своја возила и наставили кретање у супротном смеру аутопута, што указује на могућност да је део возача свесно прекршио правила саобраћаја како би избегао задржавање у колони. Овај догађај указује да војња у супротном смеру није искључиво последица грешке, дезоријентације или утицаја алкохола, већ може бити и резултат свесног и намерног кршења саобраћајних правила.

Стварни број случајева војње у супротном смеру је знатно већи од броја евидентираних саобраћајних незгода и инцидената. Истраживања показују да само

око 10% сведока пријави уочено возило које се креће у супротном смеру, уколико не дође до незгоде. Због тога велики број оваквих догађаја остаје незабележен, што може довести до потцењивања проблема и кашњења у примени одговарајућих контрамера. Наведени резултати указују да вожња у супротном смеру представља актуелан проблем безбедности на путевима највишег реда у Републици Србији и потврђују потребу примене контрамера, које су приказане у наставку рада. [6]

4 УТИЦАЈ КОНТРА-МЕРА НА ВОЖЊУ У СУПРОТНОМ СМЕРУ

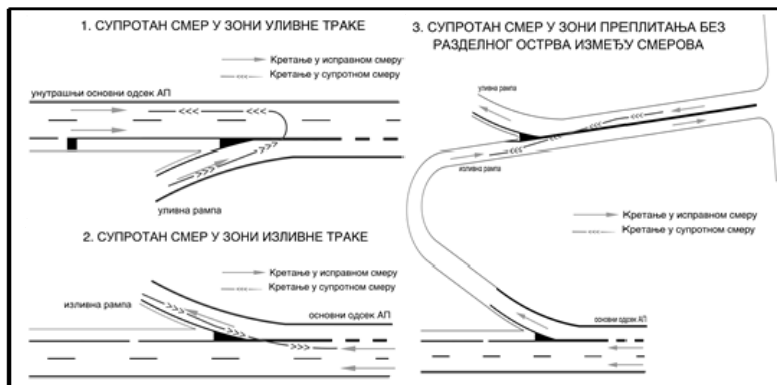
Контра-мере за спречавање вожње у супротном смеру могу се генерално поделити у три основне групе:

- Инжењерске мере (обухватају унапређење решења саобраћајних знакова, ознаке на коловозу, геометрију пута, механичке системе усмерених шиљака, електро-рампе и примену ИТС-а);
- Едукативне мере (обухватају обуку возача у ауто-школама, промоције и кампање безбедности саобраћаја);
- Мере надзора и спровођења прописа (обухватају појачану контролу саобраћаја, законске и казнене мере).

Иако механички системи усмерених шиљака представљају једну од инжењерских контра-мера, њихова примена на аутопутевима и денивелисаним раскрсницама се не препоручује. Наведени системи су намењени за саобраћајнице са малим брзинама кретања, док на путевима са великим брзинама и великим саобраћајним оптерећењем могу представљати безбедносни ризик.

У наставку рада приказане су контра-мере из групе инжењерских мера, тј. мере које се односе на фактор пут, односно унапређење решења саобраћајних знакова, ознаке на путу и ИТС. Основни циљ ових мера је да возачима укажу на опасност од уласка у супротан смер кретања, као и да их упозоре уколико су већ започели кретање у недозвољеном смеру.

На Слици 1. приказани су типични погрешни начини (маневри) и места настанка кретања у супротном смеру на ауто-путевима и на денивелисаним раскрсницама. Приказани сценарији обухватају најчешће начине на које возачи намерно или ненамерно започињу кретање у супротном смеру на аутопуту.



Слика 1. Могући погрешни маневри који доводе до кретања у супротном смеру на аутопуту, извор: Аутори рада

Најчешће примењивана контра-мера за спречавање вожње у супротном смеру је постављање саобраћајних знакова „Погрешан смер“ (III-86) и „Забрана саобраћаја за возила у једном смеру“ (II-4). На аутопутевима и мотопутевима уобичајена пракса је постављање знакова III-86 са обе стране коловоза изливне рампе, и то у непосредној близини места на којем би возач могао да уђе у супротан смер. Посебно су битни положај и висина постављања знакова, како би они били јасно уочљиви и читљиви у свим условима саобраћаја. Ово је нарочито важно у ноћним условима и условима смањене видљивости, када неадекватно постављени знакови могу остати ван видног поља возача, односно ван домета светлосног снопа фарова.

Један од начина унапређења саобраћајног знака „Погрешан смер“ (III-86) јесте примена активне светлосне сигнализације. У ту сврху могу се користити: LED трепћући рам интегрисан у знак, засебни правоугаони трепћући светлосни сигнали или округли црвени трептаци Ф300mm (Слика 2.). Активирањем ових уређаја возачу се упућује јасно и недвосмислено упозорење да се креће у недозвољеном смеру, чиме се значајно повећава уочљивост знака и вероватноћа благовремене реакције возача, односно корекције грешке.

Посебан значај унапређених решења саобраћајне сигнализације огледа се у чињеници да привлаче пажњу возача и у условима смањене концентрације, дезоријентације или вожње током ноћних часова/услова смањене видљивости. Предност наведених система је могућност њиховог повезивања са системима за аутоматску детекцију кретања у супротном смеру, чиме се обезбеђује активирање упозорења у тренутку настанка инцидентне ситуације. Примена ових решења је посебно значајна на локацијама са повећаним ризиком од погрешног скретања, односно кретања у супротан смер.

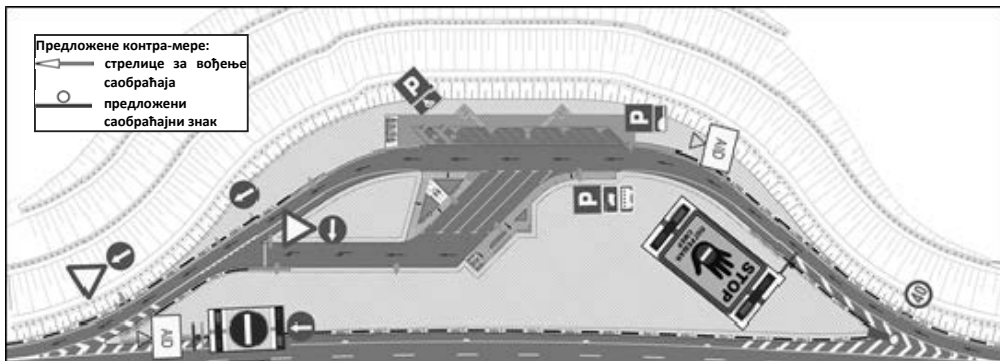


Слика 2. Приказ три могућа начина унапређења саобраћајног знака „Погрешан смер“ (III-86)
а) LED трепћући рам знака, б) правоугаони трепћући светлосни сигнали, в) округли црвени трептаци Ф300mm, извор: Аутори рада

Са друге стране ознаке на коловозу, а посебно стрелице за смер кретања, спадају међу најчешће примењиване мере за спречавање вожње у супротном смеру. Према препорукама MUTCD-а (Manual on Uniform Traffic Control Devices), стрелице би требало поставити на сваку саобраћајну траку изливне рампе у ситуацијама када геометрија или начин каналисања не обезбеђују довољно јасно вођење саобраћајних токова, као превентивну меру уласка у супротан смер. [7]

На Слици 3. приказан је предлог унапређења решења из Саобраћајног пројекта, у оквиру чега су на одморишту предвиђене стрелице на коловозу са циљем јасног усмеравања возача и спречавања могућности уласка у супротан смер кретања на

аутопуту. Поред тога, у зони одморишта предвиђена је уградња саобраћајног знака „Погрешан смер“ (III-86) опремљеног трепћућим светлосним сигналимa, који се активирају након детекције возила у супротном смеру посредством AID камере. На основном правцу аутопута предвиђен је знак „Забрана саобраћаја за возила у једном смеру“ (II-4) на флуоресцентној подлози опремљеног трепћућим светлосним сигналимa, ради повећања уочљивости и упозоравања возача на забрањени смер кретања.



Слика 3. Приказ одморишта на аутопуту у оквиру кога је предложено пројектовање контра-мера за спречавање настанка кретања у супротном смеру, извор: Саобраћајни пројекат и аутори рада

Такође и поља за усмеравање саобраћаја сугеришу кориснику дозвољени смер кретања. Наведено је у сагласности са концептом „самообјашњавајућих“ путева, где пут својим елементима, геометријом и саобраћајном сигнализацијом сугерише безбедно кретање учесника у саобраћају.

Досадашња истраживања указују да се спречавање вожње у супротном смеру заснива на примени различитих инжењерских контра-мера, чија ефикасност зависи од карактеристика конкретне локације, начина примене и могућности благовременог упозоравања возача. Мере се разликују према начину деловања, нивоу техничке сложености, трошковима уградње и одржавња, као и могућностима повезивања са системима за детекцију возача у супротном смеру. Због тога је за избор одговарајућег решења потребно сагледати њихове предности и ограничења, што је и приказано у наставку кроз упоредни преглед најзначајнијих инжењерских контра-мера. [10]

Табела 1: Преглед и анализа ефикасности инжењерских контра-мера за спречавање
вожње у супротном смеру [10]

Врста контра-мере	Ефекат према истраживањима (литература)	Кључне предности	Ограничења и недостаци
LED трепћући рам знака	Смањење догађаја вожње у супротном смеру за око 48%; Самокорекција возача око 16%; Однос користи/трошкова (k/t) 13,13 на нивоу система;	Економски повољнија опција у односу на трепћуће светлосне сигнале; Значајно смањује број инцидентата.	Ниска стопа самокорекције у односу на трепћуће светлосне сигнале; Захтева редовно одржавање; Мање префериран од стране возача.
Правоугаони трепћући светлосни сигнали	Смањење догађаја вожње у супротном смеру за око 69%; Самокорекција возача око 81%; Однос користи и трошкова (k/t) 23,20 на нивоу система; 4,10–2,49 за уштеде од незгода и 7,20–4,77 за уштеде од повреда.	Најефикаснија мера према студијама, анкетама и тестовима; Интензивно привлачи пажњу; Висока стопа самокорекције возача.	Виши трошкови имплементације у односу на LED рам знака и статичку сигнализацију; Захтева редовно одржавање опреме и напајања.
Округли црвени трептачи $\Phi 300\text{mm}$	У истраживањима и анкетама су оцењени као трећа најефикаснија мера.	Добра визуелна уочљивост; Трепћући сигнали привлаче пажњу; Могућност комбиновања са знаковима.	Нема довољно података за поуздано квантитативно одређивање смањења инцидентата у супротном смеру.
Саобраћајни знакови и ознаке на коловозу	Комбинација знакова и ознака показује позитиван ефекат. Не постоје новија истраживања која квантификују смањење инцидентата у супротном смеру.	Ниски трошкови; једноставна примена; Могућност комбиновања са другим мерама.	Статичка сигнализација (без реалне детекције); Потребно редовно одржавање; мања ефикасност без допуне динамичким системима.
Грађевинске мере (каналисање токова)	Трајно решење у спречавању уласка у погрешан смер	Јасно раздвајање токова; значајно смањење могућности погрешног скретања	Високи инвестициони трошкови; просторна ограничења; ограничена применљивост на постојећој инфраструктури.

Анализа резултата из Табеле 1. показује да највећу ефикасност имају ИТС решења. У том смислу, правоугаони трепћући светлосни сигнали представљају најефикаснију и економски најоправданију меру, док LED трепћући рам знака

представља повољнију алтернативу уз знатно нижу ефикасност, а на трећем месту налазе се округли црвени трептачи. Саобраћајни знакови и ознаке на коловозу, као и грађевинске мере, имају значајну улогу у смањењу догађаја вожње у супротном смеру, али са одређеним ограничењима у погледу трошкова, одржавања и просторних могућности. Наведени резултати су у складу са систематским прегледом групе аутора Guadagno и др. (2026), који потврђује да комбинација традиционалних (саобраћајни знакови и ознаке) и ИТС мера може смањити догађаје вожње у супротном смеру за 60–85 % уз однос користи и трошкова (k/t) до 23, што их чини посебно погодним за примену на путевима највишег реда и на улазно-излазним рампама денивелисаних раскрсница. [10]

Препознајући велики значај и потенцијал ИТС-а, исти се све чешће примењују као ефикасно средство за детекцију и спречавање вожње у супротном смеру. Наведени системи се најчешће користе на деоницама путева највишег реда имајући у виду да је на истима највећа присутност вожње у супротном смеру. ИТС се састоје од подсистема за детекцију возила и подсистема за упозоравање корисника који укључује активну светлосну сигнализацију, односно променљиву саобраћајну сигнализацију (VMS знакове). Основни принцип рада ИТС-а је да када се возило нађе на коловозу намењеном за супротан смер кретања и пређе кроз зону детекције, активирају се подсистеми за упозоравање који сугеришу осталим возачима у саобраћајном току кретање возила супротним смером.

Један од основних принципа унапређења је да и возач који је начинио грешку буде упозорен о недозвољен смеру кретања од стране система. Различити подсистеми детекције користе различите ИТС технологије како би обезбедили рано откривање кретања у супротном смеру. Наведени подсистеми детекције могу се поделити у две групе, и то: технологија детекције изнад коловоза и технологија детекције у коловозу.

Технологија детекције изнад коловоза подразумева сензоре који се постављају изнад или са стране коловоза. Овде спадају детектори микроталасним радаром, системи за детекцију засновани на термалном снимању и системи за обраду видео слика. Предност ових технологија је прикупљање података са већег броја саобраћајних трака помоћу једног сензора, што их је учинило широко прихваћеним. Поред тога, имају предности када је у питању постављање опреме и одржавање исте, а такође обезбеђују и шири скуп података од технологије детекције у коловозу, као што су магнетни сензори и индуктивне петље.

У поређењу са класичном саобраћајном сигнализацијом, ИТС системи омогућавају аутоматску детекцију инцидента, упозоравање возача и обавештавање надлежних служби, чиме се значајно смањује ризик настанка саобраћајне незгоде.

Према истраживањима као најефикаснији подсистем за упозоравање корисника о кретању у супротном смеру, издвајају се правоугаони трепћући светлосни сигнали, који су економски оправдани односом користи и трошкова. [6]

Начин рада савременог ИТС-а у случају кретања возила у супротном смеру обухвата следеће кораке:

1. Детекција возила у супротном смеру: Подсистем за детекцију возила идентификује возило у супротном смеру кретања;

2. Активирање светлосних сигнала: Подсистем за упозоравање корисника активира трепћуће сигнале како би возача упозорио да се креће у супротном смеру;
3. Обавештавање надлежних служби: Сигнал се аутоматски шаље у Оперативни центар, где оператери врше верификацију догађаја како би се елеминисали лажни аларми;
4. Упозоравање осталих возача: Након позитивне потврде о кретању у супротном смеру, оперативни центар успоставља ванредни режим који подразумева сценарио кретања возила у супротном смеру, као и обавештавање возача дуж основног одсека аутопута преко VMS знакова.

Најсавременији системи за детекцију кретања возила у супротном смеру заснивају се на интеграцији различитих извора података, као што су инфраструктурни сензори, GPS координате, cloud платформе, вештачка интелигенција и V2X (Vehicle-to-Everything) комуникација. Комбинацијом података са подсистема за детекцију омогућена је брза и поуздана идентификација возила која се креће у супротном смеру, као и благовремено упозоравање учесника у саобраћају. Развој C-ITS концепта и C-V2X комуникација додатно унапређује размену информација између повезаних возила и инфраструктуре, скраћујући време реакције и повећавајући ниво безбедности саобраћаја. [8]

5 ЗАКЉУЧАК

Унапређење саобраћајне сигнализације и примена ознака на коловозу представља релативно економичне мере, док физичко каналисање може захтевати већа инвестициона улагања. ИТС системи захтевају већа почетна улагања, али могу бити економски оправдани собиром да остварују значајно смањење инцидената, односно вожње у супротном смеру. [9]

Национална Стратегија безбедности саобраћаја предвиђа да до 2030. године 90% дужине државних путева IА реда буде опремљено савременим ИТС уређајима у функцији безбедности саобраћаја. Ради унапређења безбедности саобраћаја у обухват треба узети и државне путеве IМ реда односно мотопутеве, на којима такође постоји повећан ризик од кретања у супротном смеру. С обзиром на то да је човек подложен грешкама, систем (возило, пут и окружење) мора бити пројектован тако да те грешке компензује и спречи тешке последице, у том смислу ИТС може бити веома ефикасан.

Истраживања показују да се већина случајева вожње у супротном смеру јавља због погрешног уласка на изливну рампу, стога је јасно разликовање уливних и изливних рампи кључно за превенцију. Са тим у вези препоручује се унапређење саобраћајне сигнализације и опреме али и едукација возача кроз кампање безбедности саобраћаја и обуку у ауто-школама. У условима Републике Србије посебан значај има саобраћајни знак „Погрешан смер“ (III-86), чија се ефикасност може повећати применом активне светлосне сигнализације, као што су LED трепћући рамови, трепћући светлосни сигнали или округли црвени трептачи. Као једна од најефикаснијих контрамера издваја се примена трепћућих светлосних сигнала повезаних са системом за детекцију возила у супротном смеру, који возачу пружају непосредно упозорење у тренутку настанка инцидента. [3, 4, 6]

С обзиром на постојећи ниво развоја ИТС инфраструктуре на државним путевима IА реда, постоје технички предуслови за имплементацију система за детекцију и упозоравање на вожњу у супротном смеру, али је потребно размотрити дефинисање оптималне фреквенције и интензитета трептања LED сигнала, како би се постигла максимална пажња возача без негативних ефеката као што су заслепљивање или ометање других учесника у саобраћају. Поред упозоравања возача путем активне сигнализације, значајан допринос безбедности саобраћаја може се остварити интеграцијом AID камера, система за аутоматску детекцију инцидента и променљиве саобраћајне сигнализације (VMS), чиме се омогућава благовремено обавештавање осталих учесника у саобраћају о насталом инциденту. Додатни правац развоја било би повезивање подсистема за детекцију вожње у супротном смеру са системима навигације и дигиталним платформама, где би корисник у реалном времену имао информацију о насталом инциденту или би чак имао и могућност за пријаву нерегуларности (која би морала проћи процес званичне верификације). На тај начин возач би био упозорен пре доласка у зону ризика, што би омогућило благовремено прилагођавање начина кретања.

Не постоји универзално решење које се може применити на свим локацијама. Избор контра-мера зависи од карактеристика конкретне локације, могућности примене, трошкова и очекиваних ефеката. Истраживања показују да најбоље резултате даје комбинован приступ који обухвата унапређење инфраструктуре кроз адекватну саобраћајну сигнализацију, примену ИТС-а, едукацију учесника у саобраћају и доследно спровођење прописа. [10]

Комбинацијом наведених контрамера, уз континуирано праћење инцидента вожње у супротном смеру и развојем ИТС-а, могуће је значајно смањити ризик од вожње у супротном смеру и допринети побољшању безбедности саобраћаја на државним путевима највишег реда.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Влада Републике Србије. (2023). Стратегија безбедности саобраћаја Републике Србије за период од 2023. до 2030. године са Акционим планом за 2023. до 2025. године. Београд, Влада Републике Србије.
- [2] European ITS Platform. (2021). Reference Handbook for Harmonised ITS Core Service Deployment in Europe. Brussels: European ITS Platform.
- [3] National Transportation Safety Board. (2012). Wrong-Way Driving. Highway Special Investigation Report NTSB/SIR-12/01. Washington, DC: National Transportation Safety Board
- [4] Institute for Transportation, Iowa State University. (2018). Investigation of Wrong-Way Driving. Final Report (InTrans Project 17-623). Ames, IA: Iowa Department of Transportation.
- [5] Агенција за безбедност саобраћаја. (приступано 5.7.2026.). Интегрисана база података о обележјима безбедности саобраћаја у Републици Србији. Београд: Агенција за безбедност саобраћаја.
- [6] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2023). Wrong-Way Driving Solutions Handbook. Washington, DC: The National Academies Press.
- [7] Leduc, J. L. K. (2008). Wrong-Way Driving Countermeasures. Hartford, CT: Connecticut General Assembly, Office of Legislative Research.
- [8] Chen, S., Hu, J., Shi, Y., Zhao, L., & Li, W. (2020). A Vision of C-V2X: Technologies, Field Testing

and Challenges with Chinese Development. IEEE Internet of Things Journal, 7(5), 3872–3882.

- [9] Braam, A. C. (2006). Statewide Study of Wrong Way Crashes on Freeways in North Carolina. Raleigh, NC: North Carolina Department of Transportation.
- [10] Guadagno, M., Lucci, C., & Savino, G. (2026). Toward the Application of Wrong Way Driving Countermeasures in European Countries: Identification of the Effectiveness and Potential Benefits of New Technologies Using a Systematic Review. Traffic Injury Prevention

SUMMARY

Wrong-way driving on the highest State Road Network and effective countermeasures

Abstract: Wrong-way driving (WWD) represents a critical road safety challenge that can result in severe consequences, including fatalities. This issue has become particularly significant in the Republic of Serbia due to the increasing frequency of incidents on freeways and expressways. The factors contributing to WWD are complex and include human factors such as alcohol impairment, driver age, inattention, and confusion, as well as weather conditions and infrastructure deficiencies related to road geometry and equipment. The consequences on high-speed roads are often fatal, primarily due to front-end collisions. This paper analyzes the effectiveness of countermeasures including traffic sign improvements, pavement markings, and Intelligent Transportation Systems (ITS). Particular attention is given to ITS solutions, including detection and warning systems using Variable Message Signs (VMS) and LED flashers, which have demonstrated a significant reduction in the number of incidents in international practice. The paper provides an overview of their potential application as systemic solutions for improving road safety and preserving human lives on major road corridors.

Key words: wrong-way driving (WWD), traffic safety, front-end collisions, Intelligent Transportation Systems (ITS)

Uticaj sistema za automatsku detekciju prekršaja u zoni raskrsnica i kriterijumi za njihovo postavljanje

Goran Kalamanda, ADOMNE d.o.o., Novi Sad, goran.kalamanda@adomne.rs

Miodrag Počuć, ADOMNE d.o.o., Novi Sad, miodrag.pocuc@adomne.rs

Igor Vukobratović, ADOMNE d.o.o., Novi Sad, igor.vukobratovic@adomne.rs

Dragan Jovanović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, draganj@uns.ac.rs

Predrag Samardžija, ADOMNE d.o.o., Novi Sad, predrag.samardzija@adomne.rs

Rezime: Pravila ponašanja učesnika u saobraćaju definisana su Zakonom o bezbednosti saobraćaja na putevima i poštovanje pravila od izrazite je važnosti za bezbedno funkcionisanje saobraćajnog sistema. Za nepoštovanje odredbi Zakona predviđene su odgovarajuće sankcije. Poštovanje pojedinih odredbi Zakona pored same visine kazne zavisi i od procenta otkrivanja pojedinih prekršaja. Kontrolu i neposredno regulisanje saobraćaja na putevima vrši Ministarstvo unutrašnjih poslova - Uprava saobraćajne policije i područne policijske uprave.

Ovaj rad obrađuje sisteme automatske prinude, odnosno sisteme za automatsku detekciju prekršaja u zoni raskrsnica koji treba na efikasan način da vrše kontrolu kretanja vozila prilikom prolaska kroz raskrsnicu te da utiču na ponašanje učesnika odnosno na njihovo poštovanje propisa a samim tim i na povećanje opšte bezbednosti svih učesnika u saobraćaju.

Cilj rada je utvrditi efekte primene sistema za automatsku detekciju prekršaja kao i kriterijume za odabir sistema koji će se koristiti kako bi se dobili najbolji efekti u pogledu povećanja bezbednosti saobraćaja.

Ključne reči: sistemi automatske prinude u saobraćaju, automatska detekcija prekršaja, analiza saobraćajnih nezgoda.

1 UVOD

Pravila ponašanja učesnika u saobraćaju definisana su Zakonom o bezbednosti saobraćaja na putevima i poštovanje pravila od izrazite je važnosti za bezbedno funkcionisanje sistema kao što je saobraćaj. Kontrolu i neposredno regulisanje saobraćaja na putevima vrši Ministarstvo unutrašnjih poslova - Uprava saobraćajne policije i područne policijske uprave (Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima Službeni glasnik RS 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - odluka US, 55/2014, 96/2015 - dr. zakon, 9/2016 - odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - dr. zakon, 87/2018, 23/2019, 128/2020 - dr. zakon, 76/2023 i 19/2025)). Policijski službenici iz objektivnih razloga ne mogu da vrše nadzor na velikom broju lokacija u dužim intervalima što smanjuje procenat otkrivanja saobraćajnih prekršaja. Kako bi se na pojedinim lokacijama omogućila kontinuirana kontrola, koriste se sistemi za automatsku detekciju prekršaja.

Ovim radom obuhvaćeni su sistemi za automatsku detekciju prekršaja u zoni raskrsnica koji treba da na efikasan način vrše kontrolu kretanja vozila prilikom prolaska

kroz raskrslu i na taj naēin utiēu na ponašanje uēesnika, odnosno na njihovo poštovanje propisa a samim tim i na bezbednije uēestvovanje u saobraēaju.

Cilj rada je utvrditi efekte primene sistema za automatsku detekciju prekršaja, kao i kriterijume za odabir sistema i lokacija na kojima ēe biti postavljeni, kako bi se ostvarili najbolji efekti u pogledu poveēanja bezbednosti saobraēaja.

2 ANALIZA DOSADAŠNJEG UTICAJA SISTEMA AUTOMATSKE PRINUDE

Automatizovani sistemi za otkrivanje prekoraēenja brzine omoguēavaju efikasniju kontrolu saobraēaja, smanjenje potrebe za angažovanjem policijskih sluŹbenika i poveēanje taēnosti u otkrivanju prekršaja.

Za sagledavanje moguēih efekata sistema automatske prinude potrebno je uzeti u obzir vrste saobraēajnih prekršaja koje sistem moŹe da detektuje. Na teritoriji Grada Novog Sada sistemi za automatsku detekciju prekršaja postavljeni su na tri lokacije. Pored analize detektovanih prekršaja, analizirani su broj i posledice saobraēajnih nezgoda u periodima pre i posle postavljanja sistema automatske prinude.

2.1 Definisane sistema za primenu automatske prinude u saobraēaju

U cilju otkrivanja ovih prekršaja najefikasniji su ureēaji kojima se vrši automatska detekcija prekršaja. U gradovima u zoni raskrsnica postoje ureēaji koji otkrivaju nekoliko vrsta prekršaja i to:

- ✓ Sistem za automatsku detekciju prolaska kroz raskrslu kada je na semaforu upaljeno crveno svetlo;
- ✓ Sistem za automatsku detekciju prekoraēenja brzine;
- ✓ Sistem za detekciju prekoraēenja proseēne brzine izmeēu dve raskrsnice;
- ✓ Sistem za automatsku detekciju pogrešne namene traka i prestrojavanja u zoni raskrsnice preko neisprekidane linije;
- ✓ Sistem za automatsku kontrolu kretanja vozila u suprotnom smeru.

Ovi sistemi rade na principu automatske detekcije što omoguēava veliku efikasnost prilikom otkrivanja prekršaja, a u daljoj obradi omoguēava sluŹbenom licu lakši rad i smanjivanje eventualnih grešaka.

2.2 Primena sistema automatske prinude na teritoriji Grada Novog Sada

Kako bi se na najbolji naēin sagledao uticaj sistema za automatsku detekciju prekršaja izvršena je analiza uēinka ovih sistema na postojećim lokacijama. Na podruēju Grada Novog Sada, od 04. januara 2023. godine, sistem video nadzora za evidentiranje saobraēajnih prekršaja primenjuje se na sledećim raskrsnicama (**Error! Reference source not found.**):

- Bulevar osloboēenja – Bulevar cara Lazara (L1);
- Partizanska – Temerinska (L2).
- Bulevar cara Lazara i StraŹilovska (L3)

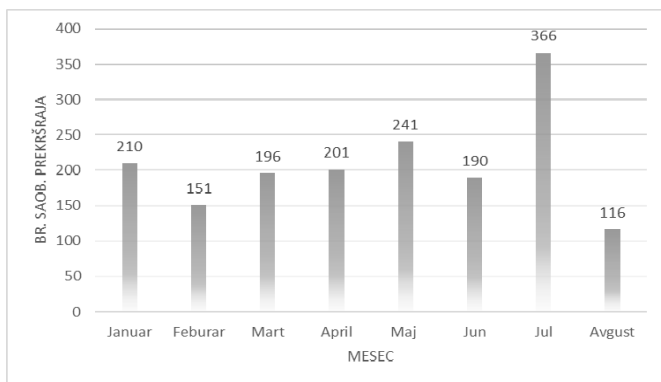
Sistemom video nadzora evidentiraju se sledeći saobraēajni prekršaji:

- Prolazak vozila na crveno svetlo na semaforu;
- Prekoraēenje brzine vozila.

Za analizu su dobijeni podaci za period od januara do avgusta 2023. godine koji su bili dostupni u periodu prikupljanja podataka. Za lokaciju L3 nisu dostupni podaci o broju saobraēajnih prekršaja tako da nije uzeta u razmatranje prilikom analize. U periodu od 04.

januara do 2023. do 31 avgusta 2023. evidentiran je 1.671 saobraćajni prekršaj (Ilustracija 1).

U periodu od 04. januara do 2023. do 31 avgusta 2023. evidentiran je 1.671 saobraćajni prekršaj (Ilustracija 1). Najveći broj evidentiranih saobraćajnih prekršaja bio je u mesecu julu, 366, a najmanji tokom avgusta (116). U ostalim analiziranim mesecima broj saobraćajnih prekršaja je na nivou od 200 saobraćajnih prekršaja mesečno.

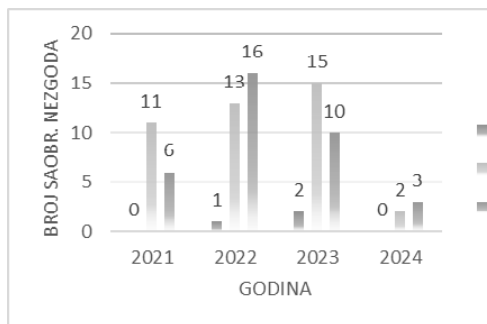


Ilustracija 1 Broj evidentiranih saobraćajnih prekršaja primenom sistema video nadzora, Novi Sad, januar-avgust, 2023.

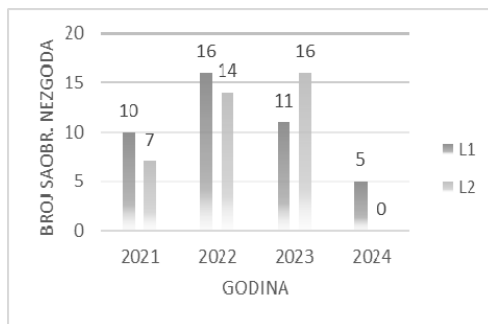
Može se zaključiti da je na analiziranim raskrscima otkriven veliki broj prekršaja čiji bi nadzor od strane policijskih službenika bio teško ostvariv. Za pouzdanije sagledavanje uticaja sistema automatske detekcije prekršaja potrebno je praćenje u dužem periodu. Dužom primenom ovakvih sistema može se očekivati promena ponašanja vozača smanjenje broja počinjenih prekršaja, što bi predstavljalo pozitivan efekat njihove primene na bezbednost saobraćaja.

S obzirom na relativno kratak period eksploatacije uređaja, analiza broja saobraćajnih nezgoda i njihovih posledica izvršena je za dve godine pre i dve godine posle postavljanja sistema. Podaci o broju saobraćajnih nezgoda preuzeti su iz integrisane baze podataka o saobraćajnim nezgodama ("Agencija za bezbednost saobraćaja", 2026).

Analizom saobraćajnih nezgoda po godinama može se uočiti da se najveći broj saobraćajnih nezgoda dogodio tokom 2022. godine, od čega je jedna saobraćajna nezgoda sa teškim telesnim povredama 13 sa lakim telesnim povredama i 16 nezgoda sa materijalnom štetom. Tokom 2021. godine manji broj saobraćajnih nezgoda treba uzeti sa oprezom, s obzirom na ograničenja kretanja tokom pandemije Covid-19. Tokom 2023 godine, odnosno prve godine primene sistema automatske prinude broj saobraćajnih nezgoda sa povređenim licima bio je sličan kao i tokom 2022. godine, dok je broj nezgoda sa materijalnom štetom smanjen. Tokom 2024. godine, došlo je do značajnijeg smanjenja broja saobraćajnih nezgoda.



Ilustracija 2 Broj saobraćajnih nezgoda na lokacijama L1 i L2 prema posledicama u periodu od 2021. do 2024. godine.



Ilustracija 3 Broj saobraćajnih nezgoda na lokacijama L1 i L2 u periodu od 2021. do 2024. godine.

Na obe raskrsnice zabeležen je sličan broj saobraćajnih nezgoda tokom posmatranog perioda. Na lokaciji L1 broj saobraćajnih nezgoda posle 2022. godine pokazuje trend opadanja, ali kako bi se dobili precizniji podaci potrebno je izvršiti analizu posle dužeg perioda primene sistema.

3 DEFINISANJE KRITERIJUMA ZA PROSTORNO LOCIRANJE SISTEMA AUTOMATSKE PRINUDE U SAOBRAĆAJU

S obzirom na broj raskrsnica na teritoriji grada kao i ekonomske troškove koje iziskuje postavljanje sistema automatske prinude, ne može se očekivati da se sistem postavi na svim raskrsnicama. Kako bi se izvrši lustracija o odabir lokacija za postavljanje sistema, a da efekti budu što veći potrebno je definisati kriterijume za prostorno lociranje sistema automatske prinude. Kriterijumi koji su korišćeni za izbor lokacije su:

Istorijat saobraćajnih nezgoda sa nastradalim

Broj nezgoda na određenoj lokaciji koje su dovele do smrtnih slučajeva ili teških telesnih povreda tokom tri godine. Postoje lokacije koje imaju veći broj nezgoda od drugih i gde nezgode imaju ozbiljniji ishod. One se mogu identifikovati analizom statistike nezgoda. Ovi trendovi se mogu koristiti radi predviđanja budućih nezgoda.

Analiza brzina na raskrsnicama

Neprilagođena brzina jedan je od glavnih faktora nastanka saobraćajnih nezgoda. Merenje brzina na raskrsnici izvršeno je kako bi se utvrdile stvarne brzine kretanja vozila na mreži.

Ponašanje vozača

Istraživanja su pokazala da je prekoračenje brzine čvrsto povezano sa verovatnoćom i težinom nezgode. Ovaj kriterijum omogućava donosiocima odluka da postave kameru na određenu lokaciju, gde je ponašanje vozača identifikovano kao rizično i povećava verovatnoću nastanka nezgode.

Opšta pogodnost lokacije i faktori rizika

Procena da li mesto ima postojeće sisteme za bezbednost saobraćaja, blizine škola ili drugih ustanova, korišćenje raskrsnica od strane pešaka, kao i da li postoji mogućnost značajno velikih brzina kretanja ili teških nezgoda. Iako neke lokacije nemaju statistiku nezgoda ili visoku verovatnoću takvog događaja, ishod nezgode na toj određenoj lokaciji

može biti katastrofalan. Pored toga, određene grupe učesnika u saobraćaju su posebno ranjive, uključujući pešake i decu u zonama škola. Upravljanje brzinom na lokacijama gde su ove grupe uobičajene je od ključne važnosti.

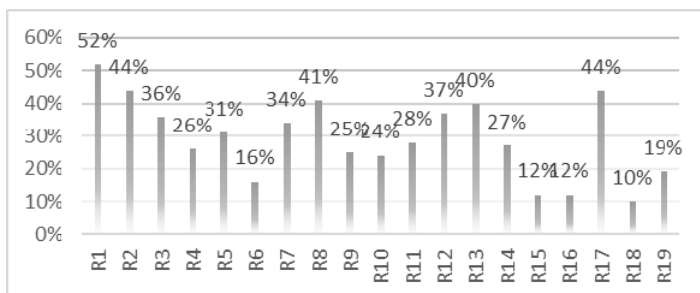
Kapacitet puta

Procena da li je lokacija povezana sa drugim putnim sistemima na kojima su moguće velike brzine, uzimajući u obzir vrstu puta i saobraćajnih traka. Geometrija nekih putnih sistema i povezanost sa drugim putevima može omogućiti nekim učesnicima u saobraćaju da u većoj meri prekorače ograničenje brzine. Ovo je posebno slučaj kod autoputeva.

Ovim radom obuhvaćena je analiza faktora brzine kretanja vozila koji daje jedan od najveći doprinos za izbor lokacije na kojoj će biti izvršeno postavljanje sistema automatske prinude.

3.1 Analiza brzina kretanja vozila na prilazima raskrsnica

Terensko istraživanje je izvršeno pomoću laserskog radara za merenje brzine kretanja vozila. Merenje brzine je vršeno prilikom ulaska vozila u raskrsnicu, pri čemu su merene brzina vozila koja se ne zaustavljaju na semaforizovanoj raskrsnici već svoje kretanje nastavljaju u kontinuitetu i bez promene pravca kretanja. Analizom dobijenih podataka dobijene su procentualne vrednosti prekoračenja brzine po prilazima. Na osnovu analize podataka izvršeno je rangiranje analiziranih raskrsnica prema broju prekoračenja ograničenja brzine u zoni raskrsnice. Za potrebe istraživanja izvršeno je merenje brzina na 19 raskrsnica na teritoriji Grada Novog Sada.



Ilustracija 4 Procentualni prikaz prekoračenja brzine po analiziranim raskrsnicama

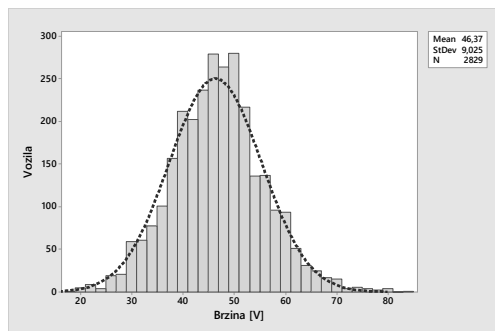
Primenom deskriptivne statistike za izmerene vrednosti brzine vozila na uzorku od 2829 izmerene brzine na prilazu raskrsnici prosečna brzina je 46,367 km/h gde je standardna devijacija 9,025 km/h. Minimalna zabeležena brzina je 18 km/h dok je maksimalna izmerena brzina 83 km/h. Ograničenje kretanja pre i posle prolaska raskrsnice je 50km/h.

Tabela 1 Rezultati primenjene deskriptivne statistike

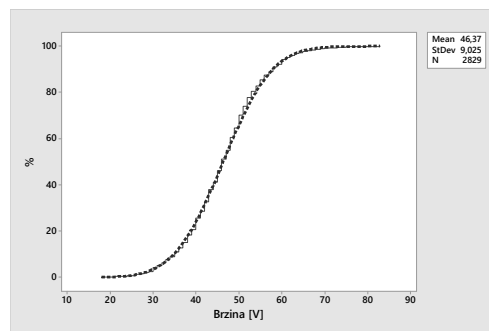
Variabla	N	Mean	SE Mean	StDev	Min	Q1	Median	Q3	Max
Brzina	2829	46,367	0,170	9,025	18	40,00	46,00	52,00	83,00

Ukoliko izvršimo grupisanje izmerenih brzina može se zaključiti da brzine na raskrsnici imaju normalnu raspodelu kao što je prikazano na sledećoj ilustraciji. Najveći broj vozila

kreće se brzinama između 43 i 55 km/h. Ako posmatramo empirijsku krivu vidimo da se oko 70% vozila kreće brzinom 50 km/h ili manjom dok je oko 30% vozila u prekoračenju. U ukupnom uzorku oko 1% vozila se kreće brzinom većom od 70 km/h što je za 20 km/h više od maksimalno dozvoljene brzine.



Ilustracija 5 Histogram raspodele brzina



Ilustracija 6 Empirijska CDF funkcija

Važno je istaći da je procenat prekoračenja izražen u odnosu na vozila kojima je izmerena brzina kretanja odnosno nije u obzir uzet ukupan protok na raskrsnici. S obzirom da se jedan deo vozila zaustavljao u raskrsnici zbog svetlosnih signala (semafora) nije bilo moguće utvrditi brzinu na prilazu raskrsnici pa su ova vozila izuzeta iz analize brzina. Iz ovakve analize možemo očekivati da je udeo vozila u ukupnom protoku na prilazu, koji prekoračuje brzinu, nešto manji u odnosu na dobijene vrednosti. Takođe, može se zaključiti da je verovatnoća prekoračenja brzine na prilazu raskrsnici zavisi od udaljenosti susedne raskrsnice, kao i dužine trajanja zelenog svetla.

4 PREDLOG RASKRSNICA NA KOJE JE POTREBNO POSTAVITI SISTEM PRINUDE

Osnovni cilj koji se očekuje primenom predloženih mera jeste smanjenje saobraćajnih nezgoda a posebno saobraćajnih nezgoda sa poginulim i teško povređenim licima.



Ilustracija 7 Prikaz raskrsnica na kojima je vršeno istraživanje sa označenim raskrsnicama na kojima se dešava najveći broj prekoračenja brzine

Uzimajući u obzir brzinu kretanja vozila prilikom prolaska kroz raskrsnicu kao jedan od ključnih kriterijuma za procenu nivoa bezbednosti saobraćaja, izvršena je detaljna analiza i rangiranje posmatranih raskrsnica. Analiza je obuhvatila vrednovanje karakterističnih

brzina vozila, uz sagledavanje njihovog uticaja na verovatnoću nastanka saobraćajnih nezgoda i težinu njihovih posledica. Na osnovu dobijenih rezultata identifikovane su raskrsnice sa povećanim rizikom od nepoštovanja saobraćajnih propisa i ugrožavanja bezbednosti svih učesnika u saobraćaju.

Za ove lokacije utvrđena je potreba za primenom sistema za automatsku prinudu, odnosno sistema za automatsku kontrolu i evidentiranje saobraćajnih prekršaja, s ciljem smanjenja brzina kretanja vozila, povećanja nivoa poštovanja saobraćajnih propisa i unapređenja ukupne bezbednosti saobraćaja. Shodno tome, u tabeli 5.1, prikazane su raskrsnice sa prioriternim redosledom za postavljanje sistema automatske prinude odnosno na kojima su prekoračenja najveća.

Tabela 2 Spisak raskrsnica koje su rangirane kao prioriternne za postavljanje sistema automatske prinude

Redni br.	Raskrsnica	Brzina	Rank
R1	Bulevar Jovana Dučića i ulica Bate Brkića	52,0	1
R2	Bulevar patrijarha Pavla Vršacka i Feješ Klare	44,0	2
R17	Bulevar Evrope i Hadži Ruvimova.	44,0	3
R8	Bul. kralja Petra I, Rumenačka i Braće Popović	41,0	4
R13	Futoški put Bulevar kneza Miloša i Bul. patrijarha Pavla	40,0	5
R12	Bulevar oslobođenja i Narodnog fronta	37,0	6
R3	Bulevar patrijarha Pavla Ilariona Ruvarca	36,0	7
R7	Partizanska i Kisačka	34,0	8
R5	Bulevar vojvode Stepe i Bate Brkića	31,0	9
R11	Bulevar Jaše Tomića i Bulevar oslobođenja	28,0	10

5 ZAKLJUČAK

Rezultati sprovedenog istraživanja potvrđuju da sistemi za automatsku detekciju i evidentiranje saobraćajnih prekršaja predstavljaju značajan instrument unapređenja bezbednosti saobraćaja u zoni raskrsnica. Analiza primene ovih sistema na teritoriji Grada Novog Sada pokazala je njihovu visoku efikasnost u otkrivanju prekršaja koji se teško mogu kontinuirano kontrolisati neposrednim radom policijskih službenika. Istovremeno, uočen je trend smanjenja broja saobraćajnih nezgoda nakon uspostavljanja sistema, što ukazuje na njihov preventivni efekat i potencijal da utiču na promenu ponašanja vozača i povećanje stepena poštovanja saobraćajnih propisa. U radu su definisani kriterijumi za izbor lokacija za postavljanje sistema automatske prinude, pri čemu su kao najznačajniji izdvojeni istorijat saobraćajnih nezgoda, ponašanje vozača, karakteristike saobraćajnog toka, opšta pogodnost lokacije i analiza brzina kretanja vozila. Posebna pažnja posvećena je analizi brzina na prilazima raskrsnicama, kojom je utvrđeno da približno 30% vozila prekoračuje dozvoljenu brzinu, dok se oko 1% vozila kreće brzinama većim od 70 km/h, što značajno povećava rizik od nastanka nezgoda i težinu njihovih posledica.

Na osnovu definisanih kriterijuma za izbor lokacija, sa posebnim naglaskom na analizu brzina kretanja vozila, identifikovane su raskrsnice sa povećanim rizikom od nastanka saobraćajnih nezgoda i težih posledica njihovog nastanka. Dobijeni rezultati ukazuju da

primena sistema automatske prinude treba da bude usmerena na lokacije sa izraženim prekoračenjima brzine i nepovoljnim bezbednosnim pokazateljima. Takav pristup omogućava racionalno ulaganje resursa i ostvarivanje najvećih efekata u pogledu smanjenja broja saobraćajnih nezgoda, ublažavanja njihovih posledica i unapređenja ukupnog nivoa bezbednosti saobraćaja.

REFERENCE

- [1] "Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima," Službeni glasnik RS 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - odluka US, 55/2014, 96/2015 - dr. zakon, 9/2016 - odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - dr. zakon, 87/2018, 23/2019, 128/2020 - dr. zakon, 76/2023 i 19/2025).
- [2] W. S. T. R. S. Z. S. D. S. Thombre S.S., "Automated Traffic Rule Violation Detection with E-Challan Generation for Smart Societies. In: Bali, V., Bhatnagar, V., Lu, J., Banerjee, K. (eds) Decision Analytics for Sustainable Development in Smart Society 5.0. Asset Analytics., in Automated Traffic Rule Violation Detection with E-Challan Generation for Smart Societies, Singapore, Springer,, 2022, pp. 65-81.
- [3] M. J. O. Busari, "Real-Time Speed Violation Detection Using Automated Systems," 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/389028155_Real-Time_Speed_Violation_Detection_Using_Automated_Systems. [Accessed 16 04 2025].
- [4] "Agencija za bezbednost saobraćaja", "Saobraćajne nezgode i posledice saobraćajnih nezgoda," 2025. [Online]. Available: <https://bazaabs.abs.gov.rs/smartPortal/saobNezgode>. [Accessed 22 04 2025].

SUMMARY

Impact of Automated Traffic Violation Detection Systems in Intersection Areas and Criteria for Their Deployment

Apstract: Rules of conduct for road users are defined by the Law on Road Traffic Safety, and compliance with these rules is of critical importance for the safe functioning of a system such as road traffic. Appropriate sanctions are prescribed for violations of the Law. Compliance with certain provisions depends not only on the severity of penalties but also on the rate of detection of specific offences. Traffic control and direct regulation on public roads are carried out by the Ministry of Interior – Traffic Police Directorate and regional police administrations.

This paper addresses systems for automatic detection of violations at intersections, designed to effectively monitor vehicle movements when passing through intersections, thereby influencing the behaviour of road users, improving compliance with regulations, and consequently enhancing traffic safety.

The objective of the study is to determine the effects of implementing automatic violation detection systems, as well as the criteria for selecting the systems to be used and the locations where they will be installed, in order to achieve the best results in terms of improving road traffic safety.

Keywords: traffic, automatic violation detection, traffic accident analysis

Od fizičkog ka digitalnom saobraćajnom znaku: Evolucija signalizacije u tranziciji ka autonomnoj mobilnosti

Miroslav Petrović, Elektrotehnički fakultet, Beograd,
miroslav.petrovic@itsserbia.rs

Mladen Nedeljkov, Srpsko društvo za inteligentne transportne sisteme, Beograd,
mladen.nedeljkov@itsserbia.rs

Ana Trpković, Saobraćajni fakultet, Beograd, a.trpkovic@sf.bg.ac.rs

Dušan Mladenović, Saobraćajni fakultet, Beograd, d.mladenovic@sf.bg.ac.rs

Filip Filipović, Saobraćajni fakultet, Beograd, f.filipovic@sf.bg.ac.rs.

Rezime: Tradicionalna saobraćajna signalizacija zasniva se na vizuelnom prenosu informacija učesnicima u saobraćaju, prvenstveno vozačima, putem standardizovanih znakova i oznaka. Međutim, razvoj kooperativne, povezane i automatizovane mobilnosti (CCAM) i sve veći stepen automatizacije vozila menjaju način na koji se informacije o putnoj infrastrukturi generišu, prenose i koriste. Dok se klasičan saobraćajni znak zasniva na vizuelno kodiranim informacijama koje korisnik – čovek, percipira i interpretira u saobraćajnom procesu, automatizovani sistemi zahtevaju digitalno dostupne, mašinski razumljive, precizne i ažurne podatke integrisane u procese upravljanja vozilom.

Ovaj rad razmatra evoluciju saobraćajne signalizacije od tradicionalnih, fizičkih znakova ka njihovim digitalnim reprezentima u okviru kooperativnih inteligentnih transportnih sistema (C-ITS). Posebna pažnja biće posvećena tranziciji, tokom koje će oba oblika prenosa saobraćajnih informacija morati da koegzistiraju i obezbede dosledno razumevanje saobraćajnog okruženja različitim korisnicima i sistemima upravljanja vozilom. Takva koegzistencija posebno je značajna sa aspekta bezbednosti saobraćaja, jer nedoslednost između fizičkih i digitalnih informacija može uticati na donošenje odluka vozača, naprednih sistema pomoći vozaču i automatizovanih vozila. Ostvarivanje takvog okruženja podrazumeva razvoj odgovarajućih tehnoloških rešenja, zbog čega se u radu analiziraju uloga V2I i V2X komunikacija, HD mapa i virtuelnih saobraćajnih znakova, kao i izazovi interoperabilnosti između putne infrastrukture i vozila.

Pored tehničkih aspekata, rad ukazuje na regulatorne i etičke izazove koji proizlaze iz digitalne transformacije saobraćajne signalizacije, uključujući pitanja pravnog statusa digitalnih informacija, odgovornosti, zaštite podataka, sajber bezbednosti i pouzdanosti digitalne infrastrukture. Posebno je značajno pitanje poverenja u digitalne informacije, jer njihova tačnost, dostupnost i usklađenost sa fizičkom signalizacijom mogu imati neposredan uticaj na bezbedno funkcionisanje saobraćaja.

Na osnovu uočenih izazova i identifikovanih istraživačkih pravaca u ovoj oblasti, biće razmotreni mogući pristupi transformaciji saobraćajne signalizacije u uslovima buduće autonomne mobilnosti.

Ključne reči: saobraćajna signalizacija, digitalni saobraćajni znakovi, autonomna vozila, CCAM, C-ITS, V2X, V2I, bezbednost, regulativa, etika

1 UVOD

Saobraćajna signalizacija tradicionalno predstavlja jedan od osnovnih načina komunikacije između putne infrastrukture i učesnika u saobraćaju. Njena uloga zasniva se na prenošenju standardizovanih vizuelnih informacija koje vozač opaža, interpretira i koristi pri donošenju odluka. Razvoj povezanih i automatizovanih vozila menja ovakav koncept, jer korisnik informacije više nije samo čovek, već i sistem vozila koji podatke o saobraćajnoj regulativi mora da primi, prepozna i pravilno interpretira.

Digitalizacija saobraćajne signalizacije zato ne podrazumeva samo pretvaranje fizičkog znaka u njegov digitalni ekvivalent, već promenu načina na koji se saobraćajna informacija definiše, prenosi i koristi. U tranzicionom periodu fizička i digitalna signalizacija moraće da funkcionišu paralelno, uz istovremeno prisustvo konvencionalnih, povezanih i automatizovanih vozila. Time se otvaraju pitanja njihove međusobne usklađenosti, pouzdanosti digitalnih podataka, interoperabilnosti, sajber bezbednosti i odgovornosti.

Cilj rada je da prikaže evoluciju saobraćajne signalizacije od fizičkog ka digitalnom znaku, sagleda zahteve koje automatizovana vozila postavljaju pred saobraćajnu signalizaciju i razmotri moguće pravce tranzicije ka hibridnom sistemu u kojem se ista saobraćajna informacija može preneti različitim komunikacionim kanalima.

2 EVOLUCIJA SAOBRAĆAJNE SIGNALIZACIJE: OD FIZIČKOG KA DIGITALNOM ZNAKU

Saobraćajni znak je tradicionalno fizički element saobraćajne signalizacije koji se nalazi u vertikalnoj ravni u odnosu na saobraćajnicu i čiji oblik, boja, simboli i dimenzije imaju standardizovano značenje. Njegova osnovna funkcija jeste da učesniku u saobraćaju prenese određenu informaciju i omogući mu da na osnovu nje pravovremeno donese odluku. U tradicionalnom konceptu, znak je prvenstveno namenjen čoveku: vozač ga vizuelno uočava, prepoznaje njegov sadržaj i povezuje ga sa odgovarajućim pravilom ili postupkom u saobraćaju, pri čemu se informacija prenosi kombinacijom grafičkih simbola i natpisa, kao i standardizovanim oblikom, veličinom i kodom boja na samom znaku [1].

Od rimskih miljokaza i jednostavnih putokaza, preko znakova upozorenja koje su u XIX veku postavljala biciklistička i automobilska udruženja, do pojave standardizovanih saobraćajnih znakova, oznaka na kolovozu i svetlosnih signala početkom XX veka, njihov razvoj pratio je rast složenosti saobraćajnog sistema i potrebu za sve preciznijim prenošenjem informacija učesnicima u saobraćaju vizuelnim putem.

Razvoj automatizovanih sistema za podršku vozaču i autonomnih vozila postepeno menja ovakvo shvatanje saobraćajnog znaka. Znak više nije samo objekat koji čovek treba da vidi, već postaje informacija koju i sistem u vozilima treba da prepozna i interpretira. Savremena vozila koriste različite senzorske tehnologije za detekciju i interpretaciju saobraćajne signalizacije, čime fizički znak dobija novu ulogu. Njegove karakteristike, kao što su oblik, kontrast, boja, retrorefleksija, vidljivost i stanje površine, postaju značajne i sa aspekta mašinskog prepoznavanja [1, 2]. Istovremeno, razvoj autonomnih vozila otvara pitanje da li postojeći fizički znakovi mogu u potpunosti odgovoriti zahtevima budućih automatizovanih sistema i da li će signalizacija zadržati svoj tradicionalni vizuelni identitet [2].

U narednoj fazi razvoja može se očekivati da fizički znak više ne bude jedini nosilac informacije. Njegov sadržaj može biti predstavljen i u digitalnom obliku, odnosno kao

podatak koji se može preneti neposredno do vozila. Time se menja osnovna karakteristika znaka: informacija više nije nužno vezana za fizički objekat i njegov položaj pored saobraćajnice. U kontekstu ovog rada, pod digitalnim saobraćajnim znakom podrazumeva se digitalna reprezentacija informacije sadržane u saobraćajnom znaku, dostupna sistemu vozila u mašinski čitljivom obliku. Fizički znak može ostati prisutan, ali njegova funkcija može postati dvostruka – predstavlja vizuelnu informaciju za čoveka, dok se istovremeno njegova sadržina može digitalno preneti i interpretirati u sistemu autonomnog vozila [2].



Slika 1: Evolucija saobraćajnog znaka: od fizičkog, preko digitalno podržanog, ka digitalnom znaku

Ovakav prelaz od fizičkog ka digitalnom znaku menja način prenosa saobraćajne informacije. Dok je kod fizičkog znaka informacija sadržana u objektu koji se vizuelno opaža, kod digitalnog znaka ona postaje podatak koji se može elektronski prenositi, obrađivati i ažurirati. Time se otvara mogućnost da informacija o znaku bude dostupna vozilu nezavisno od njegovog neposrednog vizuelnog opažanja [2].

U tranzicionom periodu fizički i digitalni znak neće predstavljati međusobno isključive modele, već će funkcionisati paralelno. Takva koegzistencija predstavlja jednu od ključnih karakteristika prelaska ka saobraćajnoj signalizaciji prilagođenoj povezanoj i automatizovanoj mobilnosti.

3 ZAHTEVI AUTOMATIZOVANIH I AUTONOMNIH VOZILA PREMA SAOBRAĆAJNOJ SIGNALIZACIJI

Zahtevi automatizovanog vozila prema putnoj infrastrukturi i saobraćajnoj signalizaciji neposredno su povezani sa njegovim projektovanim operativnim domenom (Operational Design Domain – ODD), kojim se definišu uslovi u kojima je određen automatizovani sistem projektovan da funkcioniše. Pored saobraćajnih i vremenskih uslova, ODD obuhvata i karakteristike puta i putne infrastrukture [3]. Sa aspekta saobraćajne signalizacije, to praktično znači da vozilo mora da raspolaže odgovarajućom informacijom o važećem režimu saobraćaja, u obliku i kvalitetu koji sistem može pouzdano da koristi.

U CCAM okruženju vozilo informaciju o saobraćajnoj signalizaciji može da dobije na tri osnovna načina: opažanjem fizičkog znaka pomoću senzora vozila, u digitalnom obliku putem navigacionih i drugih digitalnih mapa i neposrednom komunikacijom sa infrastrukturom (V2I), odnosno, u širem smislu, sa okruženjem (V2X) [3].



Slika 2: Načini dobijanja informacija o saobraćajnoj signalizaciji u CCAM okruženju

Bez obzira na način na koji informacija dolazi do vozila, ona mora biti tačna, pravovremena, pouzdana, standardizovana i mašinski čitljiva. Tačnost podrazumeva da informacija odgovara stvarnom stanju i važećem režimu saobraćaja, dok je kod privremenih izmena, radova na putu ili drugih promena posebno važno vreme potrebno da nova informacija postane dostupna vozilu. Standardizacija i mašinska čitljivost, sa druge strane, treba da obezbede da isto značenje informacije bude prepoznato nezavisno od proizvođača vozila, upravljača puta ili korišćene komunikacione tehnologije.

Očitavanje fizičke signalizacije kamerama i drugim senzorima i dalje predstavlja važan izvor podataka, ali je ograničeno dometom i vidljivošću senzora, stanjem signalizacije, vremenskim uslovima, kao i mogućnošću da znak bude zaklonjen drugim vozilom ili objektom. Zbog toga se u konceptima infrastrukture za automatizovanu vožnju kao jedna od važnih funkcija pametne i povezane infrastrukture navodi upravo mogućnost da vozilu obezbedi informacije koje u datom trenutku nisu dostupne njegovim sopstvenim senzorima.

C-ITS i V2X komunikacije omogućavaju da vozilo deo informacija dobije neposredno od infrastrukture, bez potrebe da prethodno očitava fizički znak. C-Roads specifikacije obuhvataju, između ostalog, DENM i IVIM poruke, kao i SPATEM/MAPEM poruke vezane za signalne faze i geometriju raskrsnica. C-Roads koristi i hibridni komunikacioni pristup, kod kojeg se ista C-ITS poruka može prenositi različitim komunikacionim kanalima, uključujući ITS-G5 i mobilne mreže [4].

Digitalne, a posebno HD mape, predstavljaju dodatni izvor podataka za automatizovana vozila. Njihova uloga nije samo u vođenju vozila po izabranoj putanji, već i u obezbeđivanju detaljnijeg opisa puta, saobraćajnih traka i elemenata regulative. U kombinaciji sa preciznim pozicioniranjem, takvi podaci omogućavaju da vozilo raspolaze informacijom o delu puta koji tek dolazi, pre nego što ga senzori neposredno registruju. Zbog toga se u savremenim pristupima fizička infrastruktura, digitalna infrastruktura i komunikacije sve češće posmatraju kao povezani elementi podrške automatizovanoj vožnji.

Navedeni izvori ne treba da se posmatraju kao međusobna zamena. Fizička signalizacija daje neposrednu informaciju o stanju na putu, digitalna mapa omogućava da ta informacija bude dostupna unapred, dok V2X komunikacija omogućava prenos dinamičkih informacija iz infrastrukture. Njihova kombinacija povećava količinu raspoloživih informacija, ali istovremeno otvara i problem njihove međusobne usklađenosti. To je posebno važno kada fizički znak, podatak u digitalnoj mapi i informacija dobijena putem V2X komunikacije ne prikazuju isto stanje.

4 KOEGZISTENCIJA FIZIČKE I DIGITALNE SIGNALIZACIJE

U uslovima paralelnog funkcionisanja fizičke i digitalne signalizacije, osnovni zahtev predstavlja usklađenost informacije u fizičkom i digitalnom prostoru. Promena ograničenja brzine, privremena regulacija u zoni radova ili druga izmena režima saobraćaja mora biti prikazana fizičkom signalizacijom, ali i blagovremeno uneta u digitalne izvore koje koriste vozila. Ako je, na primer, znak na putu promenjen, a podatak u digitalnoj mapi nije, vozač i automatizovani sistem mogu u istom trenutku raspolagati različitim informacijama o istom režimu saobraćaja.

Sa druge strane, povezivanje vozila i infrastrukture pokazuje da digitalni sloj može biti više od prostog digitalnog prikaza fizičkog znaka. Sun i dr. (2018) su u simulacionom okruženju uporedili model vožnje zasnovan na vizuelnom opažanju signalizacije (IDM-VO) sa modelom koji koristi komunikaciju vozila i infrastrukture (IDM-V2I). U analiziranim scenarijima, primena V2I komunikacije smanjila je prosečno vreme putovanja za 12,98%, vreme zadržavanja pri zaustavljanju za 98,32% i potrošnju goriva za 22,53% [5]. Rezultati konkretnog eksperimenta pokazuju potencijal da informacija dobijena od infrastrukture dopuni fizičku signalizaciju i bude iskorišćena pre nego što vozilo dođe u njenu neposrednu blizinu.

Koegzistencija fizičke i digitalne signalizacije zato zahteva drugačiji pogled i na samu promenu režima saobraćaja. Postavljanje, uklanjanje ili zamena fizičkog znaka više nije dovoljno ako ista promena nije sprovedena i u digitalnom sloju. Fizička i digitalna informacija moraju da se menjaju sinhronizovano, a situacije u kojima se razlikuju otvaraju pitanja prioriteta izvora, odgovornosti i bezbednosti sistema.

5 BEZBEDNOSNI, INTEROPERABILNI I REGULATORNI IZAZOVI

Neusaglašenost fizičke i digitalne informacije predstavlja samo jedan od rizika koji nastaju digitalizacijom i povezivanjem saobraćajne signalizacije. Sa aspekta bezbednosti saobraćaja, problem može nastati i kada je informacija neažurna, privremeno nedostupna ili kada različiti izvori – fizička signalizacija, digitalna mapa i V2X poruka – pružaju različite informacije o istom režimu saobraćaja. U takvim situacijama posebno je važno da sistem može da prepozna neusaglašenost i da je razreši prema unapred definisanim pravilima. U potpuno povezanom CCAM okruženju ranjivosti se mogu posmatrati na tri nivoa: u samom vozilu, u komunikacionom sloju kojim se razmenjuju poruke i na aplikativnom, odnosno nadzornom nivou [6]. Za digitalnu signalizaciju posebno je osetljiv komunikacioni sloj, jer neovlašćena izmena ili generisanje lažne V2X poruke može dovesti do toga da vozilo dobije informaciju koja ne odgovara stvarnom režimu saobraćaja. Zbog toga autentifikacija izvora, integritet podataka i zaštita komunikacije postaju deo ukupne bezbednosti saobraćaja. U oblasti vozila ovaj problem je već prepoznat kroz UNECE regulative R155 i R156 i standard ISO/SAE 21434 [6].

Drugi izazov je interoperabilnost. Digitalna informacija mora da zadrži isto značenje bez obzira na sistem kroz koji prolazi i vozilo koje je koristi. C-Roads je ovaj problem rešavao kroz zajedničke tehničke specifikacije i međusobna testiranja, uključujući DENM, IVIM i SPATEM/MAPEM poruke, pri čemu je u okviru testiranja potvrđivana interoperabilnost između različitih implementacija [4]. Ipak, tehnička interoperabilnost ne daje sama po sebi odgovor na pitanje koji podatak treba smatrati važećim kada se fizička signalizacija, digitalna mapa i V2X poruka međusobno razlikuju. Ovo pitanje je posebno

značajno u uslovima privremene regulacije i dinamičkih promena režima saobraćaja, kada tačnost informacije zavisi i od njenog blagovremenog ažuriranja.

Tu se tehnički problem direktno pretvara u regulatorni. Potrebno je definisati status digitalne informacije u odnosu na fizički postavljenu signalizaciju, ali i odgovornost za njeno kreiranje, ažuriranje i distribuciju. U lancu se pojavljuju nadležni organ, upravljač puta, pružalac podataka ili digitalne mape, operator komunikacionog sistema i proizvođač vozila. Ovakav odnos uklapa se u širi koncept podeljene odgovornosti u sistemima automatizovane mobilnosti, u kojima bezbedno funkcionisanje više ne zavisi od jednog učesnika, već od međusobnog delovanja čoveka, vozila, infrastrukture i drugih aktera uključenih u funkcionisanje sistema [11]. Zbog toga će, paralelno sa daljim tehničkim razvojem, biti potrebno jasnije definisati autoritativni izvor podataka i odgovornosti učesnika u celom lancu.

Pored regulatornih pitanja, digitalizacija saobraćajne signalizacije otvara i određena etička pitanja. Ona se pre svega odnose na poverenje korisnika u digitalne informacije i automatizovane sisteme, transparentnost načina na koji se te informacije koriste pri donošenju odluka, kao i na pitanje odgovornosti u slučaju pogrešne ili neažurne informacije. U tranzicionom periodu, neusaglašenost informacije koju vozač opaža na fizičkoj signalizaciji i one koju prikazuje ili koristi sistem vozila može dodatno uticati na poverenje korisnika u automatizovane funkcije. Poseban izazov predstavlja situacija u kojoj odluka automatizovanog sistema zavisi od podataka koji se razmenjuju između većeg broja učesnika, zbog čega granica odgovornosti između upravljača puta, pružaoca podataka i proizvođača vozila može postati manje jasna.

6 MODEL TRANZICIJE KA HIBRIDNOJ SAOBRAĆAJNOJ SIGNALIZACIJI

Prelazak sa tradicionalne na digitalizovanu saobraćajnu signalizaciju ne treba posmatrati kao jednostavnu zamenu fizičkih znakova njihovim digitalnim ekvivalentima, već kao postepen proces prilagođavanja putne infrastrukture potrebama automatizovane mobilnosti. Postojeća fizička signalizacija predstavlja polaznu tačku tog procesa, dok se digitalni sloj postepeno uvodi kako bi infrastrukturne informacije postale dostupne i automatizovanim vozilima. Mihalj et al. (2022) ukazuju na značaj prilagođavanja putne infrastrukture, uključujući digitalizaciju, komunikaciju između vozila i infrastrukture i harmonizaciju saobraćajnih informacija [7].

Jedan od relevantnih okvira za opisivanje takve tranzicije jeste ISAD (Infrastructure Support levels for Automated Driving) klasifikacija koju su predložili Carreras et al. (2018) [9]. Njena vrednost za proces tranzicije nalazi se u tome što infrastrukturu ne posmatra kao sistem koji se odjednom transformiše, već predviđa različite nivoe podrške automatizovanoj vožnji. Erhart et al. (2020) ovaj pristup dodatno razvijaju kroz analizu statičkih i dinamičkih infrastrukturnih informacija i komunikacionih sposobnosti infrastrukture, pokazujući da različiti delovi putne mreže mogu imati različite nivoe spremnosti [9]. Tranzicija se stoga može odvijati postepeno, kako vremenski tako i prostorno.

U početnoj fazi takvog procesa digitalni sloj može predstavljati digitalnu reprezentaciju postojećih saobraćajnih znakova. Time se postojeća informacija ne menja, već se omogućava njen prenos i automatizovanom vozilu. U narednim fazama digitalni sloj može biti proširen dinamičkim informacijama, kao što su privremena ograničenja,

radovi na putu ili promene režima saobraćaja. Daljim razvojem omogućava se neposredna komunikacija između infrastrukture i vozila. Fizička signalizacija pri tome ne nestaje, već nastavlja da funkcioniše paralelno sa digitalnim slojem.

Ovakav postepeni razvoj odgovara širem pravcu razvoja infrastrukture za automatizovanu mobilnost. Dok ISAD pristup omogućava razlikovanje nivoa infrastrukturne podrške, novija istraživanja sve više posmatraju fizičku i digitalnu infrastrukturu kao međusobno povezane komponente šireg sistema. Mantouka et al. (2026) ukazuju na potrebu integracije fizičke infrastrukture, digitalnih tehnologija, vozila i upravljačkih mehanizama kako bi se omogućilo pouzdano širenje automatizovane mobilnosti [10]. Time se digitalizacija saobraćajne signalizacije više ne posmatra kao izolovana tehnološka promena, već kao deo šire transformacije saobraćajnog sistema.

Ovakav pristup vodi ka shvatanju hibridne signalizacije kao sistema u kojem je osnovna jedinica saobraćajna informacija, a fizički i digitalni znak predstavljaju njene različite načine komunikacije. Cilj tranzicije zato nije da jedan kanal zameni drugi, već da se obezbedi da različiti kanali prenose međusobno usklađenu informaciju i da njihova upotreba ne dovede do nepredvidivog ponašanja učesnika u saobraćaju.

Stoga se kao realniji model tranzicije nameće hibridna signalizacija zasnovana na principu „**jedna saobraćajna informacija – više komunikacionih kanala**“. Njena suština nije u tome da fizički znak bude zamenjen digitalnim, niti da jednom od njih bude unapred dodeljen apsolutni prioritet. Suština je u uspostavljanju sistema u kojem je saobraćajna informacija jedinstvena, njeni različiti oblici međusobno usklađeni, a eventualni konflikti prepoznati i rešeni prema unapred definisanim pravilima. Takav model omogućava postepenu digitalizaciju postojeće infrastrukture i istovremeno pruža osnovu za bezbednu koegzistenciju konvencionalnih, povezanih i automatizovanih vozila.

7 ZAKLJUČAK

Razvoj povezane i automatizovane mobilnosti postepeno menja ulogu saobraćajnog znaka. Saobraćajna informacija više nije namenjena isključivo vizuelnom opažanju vozača, već mora biti dostupna i sistemima vozila u digitalnom i mašinski čitljivom obliku. To, međutim, ne znači da će digitalni znak jednostavno zameniti fizički, već da će se način prenosa saobraćajne informacije razvijati ka sistemu u kojem fizička signalizacija, digitalne mape i komunikacija vozila i infrastrukture funkcionišu kao različiti kanali iste informacije.

Ključni izazov takvog sistema biće obezbeđivanje tačnosti, ažurnosti i međusobne usklađenosti informacija, uz jasno definisane zahteve u pogledu interoperabilnosti, sajber bezbednosti i odgovornosti za njihovo kreiranje, ažuriranje i distribuciju. Posebno značajno biće pravovremeno prepoznavanje i razrešavanje situacija u kojima različiti izvori pružaju neusaglašene informacije o važećem režimu saobraćaja, jer takve razlike mogu neposredno uticati na odluke vozača i automatizovanih sistema i time značajno uticati na bezbednost i poverenje korisnika u nova tehnološka rešenja. Tranziciju zato treba posmatrati kao postepen razvoj hibridne signalizacije zasnovane na principu „jedna saobraćajna informacija – više komunikacionih kanala“. Hibridnost nije samo nužno privremeno stanje tranzicije, već može biti racionalan način funkcionisanja infrastrukture tokom dugog perioda koegzistencije različitih tipova vozila.

LITERATURA

- [1] Trpković, A., Subotić, I., Reković, P., Vukobratović, I., Mostafa, N. (2018). Standardization, design and use of graphic symbols in traffic engineering. Put i saobraćaj, 64(4), 43–47. DOI: 10.31075/PIS.64.04.06.
- [2] Trpković, A., Stanić, B., Jevremović, S. (2022). Budućnost saobraćajne signalizacije u eri pametnih puteva i autonomnih vozila. Zbornik radova XL Simpozijuma o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2022, Beograd, 365–374. DOI: 10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.038.
- [3] Petrović, M., Mladenović, D., Nedeljkov, M. (2026). Kategorizacija saobraćajnih znakova u kooperativnoj, povezanoj i automatizovanoj mobilnosti, Zbornik radova 6. srpski kongres o putevima, Beograd, 2026. DOI: 10.31075/6SKP.41
- [4] C-Roads Platform. (2023). C-Roads – Working Groups Status, Generation of C-ITS Specifications & Implementation in Austria, Release 2.0.6.
- [5] Sun, D., He, Y., Zhao, M., Cheng, S. (2018). Cooperative driving modelling in the vicinity of traffic signals based on intelligent driver model. IET Intelligent Transport Systems, 12(10).
- [6] Petrović, M., Mladenović, D., Nedeljkov, M. (2025). Standardi informacione bezbednosti primenjeni u bezbednosti drumskog saobraćaja, Zbornik radova XLIII Simpozijuma o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2025, Beograd, DOI: 10.37528/FTTE/9788673955056/POSTEL.2025.30
- [7] Mihalj, T., Li, H., Babić, D., Lex, C., Jeudy, M., Zovak, G., Babić, D., Eichberger, A. (2022). Road Infrastructure Challenges Faced by Automated Driving: A Review. Applied Sciences, 12(7), 3477.
- [8] Carreras, A., Daura, X., Erhart, J., Rührup, S. (2018). Road Infrastructure Support Levels for Automated Driving. Proceedings of the 25th ITS World Congress, Copenhagen.
- [9] Erhart, J., Harrer, M., Rührup, S., Seebacher, S., Wimmer, Y. (2020). Infrastructure Support for Automated Driving: Further Enhancements on the ISAD Classes in Austria. Proceedings of the 8th Transport Research Arena (TRA 2020).
- [10] Mantouka, E. G., Vakrinou, K., Christidis, K. N., Magoutas, B., Kiousi, A., Vlahogianni, E. I. (2026). Automated Vehicle Traffic: A Review of Operational Challenges, Infrastructure Requirements and Research Directions. Sensors, 26(4), 1232. DOI: 10.3390/s26041232.
- [11] Mladenović, D., Petrović, M., Filipović, F. (2026). Etički aspekti primene autonomnih vozila i njihov uticaj na bezbednost saobraćaja. Zbornik radova 21. Međunarodna konferencija „Bezbednost saobraćaja u lokalnoj zajednici“, Vrnjačka Banja, Srbija, 22–25. april 2026.

SUMMARY

From Physical to Digital Traffic Signs: Evolution of Traffic Signage in the Transition to Autonomous Mobility

Abstract: Traditional traffic signage is based on the visual communication of information to road users, primarily drivers, through standardised signs and markings. However, the development of Cooperative, Connected and Automated Mobility (CCAM) and increasing levels of vehicle automation are changing the way information about road infrastructure is generated, transmitted and used. While conventional traffic signs rely on visually encoded information perceived and interpreted by the human user within the

driving process, automated systems require digitally available, machine-readable, accurate and up-to-date data integrated into vehicle control processes.

This paper examines the evolution of traffic signage from traditional physical signs towards their digital representations within Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS). Particular attention is given to the transition period, during which both forms of traffic information communication will need to coexist and ensure a consistent understanding of the traffic environment by different users and vehicle control systems. Such coexistence is particularly important from a road safety perspective, as inconsistencies between physical and digital information may affect the decision-making of drivers, advanced driver assistance systems and automated vehicles. Achieving such an environment requires the development of appropriate technological solutions. Accordingly, the paper analyses the role of V2I and V2X communications, HD maps and virtual traffic signs, as well as interoperability challenges between road infrastructure and vehicles.

In addition to technical aspects, the paper addresses regulatory and ethical challenges arising from the digital transformation of traffic signage, including the legal status of digital information, liability, data protection, cybersecurity and the reliability of digital infrastructure. Trust in digital information is particularly important, as its accuracy, availability and consistency with physical signage may have a direct impact on the safe operation of the transport system.

Based on the identified challenges and research directions in this field, the paper considers possible approaches to the transformation of traffic signage in the context of future autonomous mobility..

Key words: traffic signage, digital traffic signs, autonomous vehicles, CCAM, C-ITS, V2X, V2I, road safety, regulation, ethics

Humani inženjering u gradovima: analiza pristupačnosti Kliničkog centra Srbije

Mina Grujović, Saobraćajni fakultet, Beograd, mina.grujovic@gmail.com

Anđela Novaković, Saobraćajni fakultet, Beograd, andjelanovakovic@gmail.com

Jelena Pejović, Saobraćajni fakultet, Beograd, jpejovic567@gmail.com

Aleksandra Krstić, Saobraćajni fakultet, Beograd, akikrstic00@gmail.com

Marija Petrović, Saobraćajni fakultet, Beograd, marrijapetrovic@gmail.com

Vladimir Nestorović, Saobraćajni fakultet, Beograd,

vladanestorovic135@gmail.com

Rezime: Principi humanog inženjeringa, kao interdisciplinarnog pristupa prilikom projektovanja prostora, infrastrukture i sistema, sve češće dobijaju primarnu ulogu u planiranju i oblikovanju urbanog prostora. Uprkos rastućem značaju koncepta inkluzivnog projektovanja, brojni javni prostori i objekti i dalje nisu u potpunosti prilagođeni potrebama svih korisnika, usled infrastrukturnih i saobraćajnih prepreka koje ograničavaju njihovu pristupačnost. Ovaj problem je posebno izražen u zonama zdravstvenih ustanova, koje svakodnevno koriste najranjiviji učesnici u saobraćaju, različitih sposobnosti, starosne dobi i potreba. Polazeći od potrebe za obezbeđivanjem ravnopravnog pristupa i korišćenja zdravstvenih usluga, cilj ovog rada jeste analiza pristupačnosti Kliničkog centra Srbije, uzimajući u obzir funkcionisanje saobraćajnog sistema i kvalitet infrastrukture namenjene različitim grupama korisnika. Posebna pažnja usmerena je na identifikaciju ključnih prostornih i fizičkih prepreka koje umanjuju nivo pristupačnosti, bezbednosti i funkcionalnosti zdravstvenog kompleksa. Oslanjajući se na rezultate terenskog istraživanja, izvršena je sveobuhvatna analiza ulične mreže, saobraćajne signalizacije, karakteristika motorizovanih i nemotorizovanih korisnika, stacionarnog saobraćaja i funkcionalnosti sistema javnog prevoza. Među najznačajnijim identifikovanim problemima izdvajaju se nedostaci pešačke infrastrukture i elemenata pristupačnosti, neadekvatna organizacija stacionarnog saobraćaja, kao i održavanost saobraćajne infrastrukture. Predlažući odgovarajuća projektantska rešenja, ovaj rad doprinosi razvoju metodološkog okvira i pruža podršku donosiocima odluka u identifikovanju prioriteta i definisanju mera za unapređenje pristupačnosti zdravstvenog kompleksa u skladu sa principima inkluzivnog projektovanja i humanog inženjeringa.

Ključne reči: pristupačnost, Klinički centar Srbije, humani inženjering, inkluzivno projektovanje, osobe sa ograničenom mobilnošću

1. UVOD

Pristupačnost, u okviru univerzalnog dizajna u gradovima, predstavlja princip oblikovanja prostora, proizvoda, usluga i digitalnih sadržaja na način koji omogućava da ih koriste svi ljudi, uključujući osobe sa invaliditetom, starije osobe i osobe sa privremenim ili trajnim ograničenjima u kretanju. Neadekvatna pristupačnost javnih prostora i objekata može dovesti do ograničene mobilnosti, smanjene samostalnosti i neravnopravnog

učesća pojedinih grupa korisnika u svakodnevnim aktivnostima. U zonama zdravstvenih ustanova takvi nedostaci imaju poseban značaj, jer fizičke i saobraćajne prepreke mogu otežati ili onemogućiti bezbedan i efikasan pristup zdravstvenim uslugama korisnicima različitih sposobnosti i potreba. Pružajući brojne usluge dijagnostike, lečenja i rehabilitacije pacijenata iz svih delova države, Klinički centar Srbije ima izuzetan značaj u zdravstvenom, društvenom i urbanom sistemu. Imajući u vidu veliki broj korisnika koji svakodnevno pristupaju ovom kompleksu, obezbeđivanje adekvatne pristupačnosti predstavlja jedan od važnih preduslova za njegovo nesmetano funkcionisanje. U skladu sa tim, cilj ovog rada jeste analiza pristupačnosti Kliničkog centra Srbije sa aspekta funkcionisanja saobraćajnog sistema i kvaliteta infrastrukture namenjene različitim grupama korisnika i predlog mera za poboljšanje pristupačnosti. Najveći fokus stavljen je na osobe sa ograničenom mobilnošću, ali u obzir su uzeti i ostali nemotorizovani i motorizovani korisnici ovog područja. Sva predložena rešenja u okviru ovog rada definisana su u skladu sa principima univerzalnog dizajna (eng. Design for All), čime se doprinosi planiranju i oblikovanju prostora pristupačnog najširem krugu korisnika, bez potrebe za naknadnim prilagođavanjima ili primenom posebnih rešenja.

2. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

2.1. Područje istraživanja

Klinički centar Srbije zauzima površinu od 34ha u centru Beograda, na opštini Savski venac. Glavni pristup kompleksu Kliničkog centra Srbije obezbeđen je saobraćajnicama primarnog ranga, i to ulicom Kneza Miloša, Bulevarom oslobođenja i motoputem M11, kao i saobraćajnicama sekundarnog ranga, Višegradskom, Resavskom i Pasterovom ulicom. Pristup objektima unutar kompleksa Kliničkog centra Srbije ostvaruje se sistemom internih saobraćajnica tercijarnog ranga.

U neposrednom okruženju nalaze se značajni saobraćajni čvorovi Slavija i Autokomanda, železničke stanice „Karađorđev park“ i „Beograd Centar“, kao i veći broj stajališta javnog gradskog i međugradskog prevoza. Unutar kompleksa zastupljene su jednosmerne i dvosmerne lokalne i pristupne ulice, od kojih Pasterova, Tiršova i Resavka spadaju u najznačajnije. Dodatnu atraktivnost područja uslovljava prisustvo brojnih sadržaja u neposrednom okruženju, među kojima se izdvajaju Hram Svetog Save, Narodna biblioteka Srbije i Karađorđev park.



Slika 1. Kompleks Kliničkog centra Srbije

2.2. Prikupljanje podataka

Postojeće stanje pristupačnosti Kliničkog centra je analizirano terenskim istraživanjima, među kojima je sprovedeno: brojanje i analiza saobraćaja (motorizovanog i nemotorizovanog); analiza parking kapaciteta; analiza stanja saobraćajne signalizacije i analiza pristupačnosti javnim prevozom i analiza raskrsnica.

Za potrebe analize saobraćajnih karakteristika na području Kliničkog centra Srbije izvršeno je prikupljanje podataka o saobraćajnim tokovima, sa ciljem sagledavanja intenziteta i strukture saobraćaja na posmatranom području. Jedan deo podataka o motorizovanom saobraćaju dobijen je korišćenjem automatskih detektora za brojanje saobraćaja, čiji su podaci preuzeti iz baze Sekretarijata za saobraćaj Grada Beograda. Posmatrane su saobraćajnice koje okružuju kompleks Kliničkog centra, a podaci su analizirani za karakteristične vremenske periode, odnosno jutarnji i popodnevni vršni čas.

Dodatno istraživanje sprovedeno je neposrednim terenskim brojanjem, pri čemu su registrovani motorizovani i nemotorizovani učesnici u saobraćaju. Brojanje je izvršeno u ulici dr Subotića starijeg i ulici dr Koste Todorovića za motorizovani saobraćaj, dok su za nemotorizovani saobraćaj obuhvaćene i Deligradska ulica i druge lokacije u neposrednoj blizini kompleksa. Istraživanje je sprovedeno u toku jutarnjeg vršnog časa od 7:00 do 8:00 časova i popodnevnog navršnog časa od 13:00 do 14:00 časova.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Dobijeni podaci pokazuju da je saobraćajno opterećenje u posmatranoj zoni značajno, pri čemu su najveći intenziteti zabeleženi na glavnim saobraćajnicama koje okružuju kompleks. Kao najopterećenija izdvaja se Resavska ulica, na kojoj je u popodnevnom vršnom času u smeru od Višegradske ka Nemanjinoj zabeležen protok od 636 PAJ/h.

Rezultati brojanja ukazuju na izraženu specifičnost saobraćaja na području Kliničkog centra, koja je posledica njegove namene i velikog broja korisnika. U ulici dr Subotića starijeg tokom jutarnjeg perioda registrovano je ukupno 224 vozila, dok je u popodnevnom periodu zabeleženo 324 vozila. U ulici dr Koste Todorovića evidentirano je 597 vozila u jutarnjem i 486 vozila u popodnevnom periodu. Dobijeni rezultati pokazuju da se intenzitet saobraćaja ne menja značajno između posmatranih perioda, što je povezano sa specifičnom namenom područja i činjenicom da se saobraćaj ne odnosi isključivo na uobičajene dnevne migracije stanovništva, već u velikoj meri na pacijente, zaposlene, posetioce i vozila hitnih službi. Rezultati brojanja nemotorizovanog saobraćaja pokazuju da je najveći intenzitet pešačkih tokova zabeležen u ulici dr Subotića starijeg, zbog čega se ova ulica može izdvojiti kao najopterećenija posmatrana lokacija u pogledu pešačkog saobraćaja.

Na osnovu sprovedene analize postojećeg stanja u zoni Kliničkog centra Srbije, uočeni problemi mogu se taksativno navesti prema oblastima gde se mere poboljšanja moraju primeniti.

U okviru pešačke infrastrukture i njene pristupačnosti uočeni su problemi (slika 2):

- Smanjena efektivna širina trotoara usled nepropisno parkiranih vozila, zaštitnih stubića, privremenih zona radova i urbanog mobilijara,
- Nedostatak kontinuiranih pešačkih koridora i obeleženih pešačkih prelaza,
- Nedosledno taktilno popločavanje za slepa i slabovidna lica na prilazima pešačkim prelazima i unutar kompleksa,

- Neadekvatno usklađen sistem rampi i spuštenih ivičnjaka, koji su često bez jasnog kontrasta u boji ili teksturi,
- Neobezbeđena minimalna širina trotoara za osobe sa ograničenom mobilnošću,
- Širina trotoara nije u skladu sa intenzitetom pešačkih tokova.

Što se tiče sistema parkiranja, na terenu su uočeni sledeći problemi (slika 2):

- Npropisno parkiranje na pešačkim površinama i u zonama hitnog prijema usled nedostatka efikasne kontrole,
- *Nedostatak informacija o slobodnim parking mestima u javnoj garaži,*
- *Nedovoljan broj parking mesta, uključujući parking mesta namenjena osobama sa invaliditetom, kao i njihovo nepravilno obeležavanje,*
- *Nepostojanje vertikalne signalizacije uz obeležena parking mesta.*

Uočeni problemi vezani za saobraćajnu signalizaciju i kolovoz su sledeći (slika 2):

- Visoka vandalizovanost i fizička oštećenja vertikalne signalizacije
- Nedostatak putokazne signalizacije do objekata unutar kompleksa
- Izbledelost horizontalne signalizacije
- Oštećenja kolovoza – brojne mrežaste pukotine i udarne rupe



Slika 2. Uočeni problemi na području istraživanja

Javni prevoz odlikuju sledeći uočeni problemi:

- *Velika udaljenost stajališta od objekata unutar kompleksa (preko 400 metara), što je posebno izazovno za slabopokretne osobe*
- *Nepristupačnost vozila javnog prevoza – vozila, kao što su vozovi i neki tipovi tramvaja ne koristi niskopodna vozila*

Pojedini problemi se javljaju na gotovo celom području Kliničkog centra, dok se ostali javljaju samo na određenim lokacijama. Na osnovu sprovedenih analiza i sagledavanja karakteristika područja Kliničkog centra može se zaključiti da postoje značajni infrastrukturni i organizacioni nedostaci koji negativno utiču na bezbednost, pristupačnost i funkcionalnost prostora.

4. PREDLOZI UNAPREĐENJA

Na osnovu značaja Kliničkog centra i različitosti njegovih korisnika, kao i uočenih nedostataka nakon sprovedenog istraživanja, u nastavku će biti prikazani načini poboljšanja pristupačnosti postojeće infrastrukture svim vidovima kretanja. Novoprojektovano stanje za zonu Kliničkog centra osmišljeno je sa ciljem poboljšanja pristupačnosti posmatranoj zoni svim vidovima kretanja.

4.1. Unapređenje pešačkih komunikacija

Preporuka je da se pešačke komunikacije prošire tako da odgovaraju vrednostima navedenim u okviru *Priručnika za projektovanje puteva u Republici Srbiji*. S toga, minimalna širina trotoara za kretanje osoba sa ograničenom mobilnošću bi trebalo da iznosi 1,2m, odnosno 1,8m, kako bi paralelno mogle da se kreću dve osobe u invalidskim kolicima [1]. Na površinama gde ne mogu da se obezbede optimalne, odnosno minimalne širine, na rastojanju do 50m treba da se izvedu proširenja staze. Proširenja su površine koje služe za mimoilaženje, a širina na mestu proširenja za mimoilaženje treba da iznosi najmanje 180cm. Takođe, na mestima gde je to moguće bilo bi poželjno ukinuti parkiranje i proširiti pešačku infrastrukturu i razdvojiti motorizovana i ostala kretanja drvoredima koji bi za efekat imali povećanje bezbednosti najranjivijih učesnika u saobraćaju.

U prostoru do visine 2,20m i širine 1,20m ne bi smele da budu prisutne nikakve prepreke. U slučaju kada to nije izvodljivo, konture prepreke moraju biti prepoznatljive na visini do 30cm (slepe i slabovide osobe).

Takođe, potrebno je obezbediti taktilne površine za vođenje i upozoravanje duž svih pešačkih komunikacija. Usmeravajuće taktilne površine postavljene upravno na pravac kretanja pešaka moraju biti široke najmanje 0,60m kako bi bili pouzdano detektabilne. Ako su postavljeni paralelno sa pravcem kretanja, mogu biti široki najmanje 0,30m kada je prostor ograničen. Detektabilne upozoravajuće površine treba da imaju minimalnu širinu od oko 0,60m u pravcu kretanja pešaka. One treba da se protežu celom širinom između trotoara i kolovoza na pešačkim prelazima, odnosno na mestima ukrštanja pešačkih tokova sa motorizovanim saobraćajem [2]. Preporuka je da se površine trotoara i pešačkih staza izvedu u crvenoj boji, a taktilne površine u žutoj, kako bi se obezbedio potreban kontrast koji bi omogućio lakše kretanje slabovidim korisnicima.

Za savladavanje visinskih razlika predlaže se uvođenje pravougaonih rampi koje bi bile postavljene u liniji sa pešačkim prelazom. Primena ovog tipa rampi obezbedila bi korisnicima najkraću putanju kretanja tokom prelaska kolovoza i smanjila vreme izloženosti motorizovanom saobraćaju [3].

4.2. Unapređenje saobraćajne signalizacije i stanja kolovoza

Za poboljšanje stanja vertikalne signalizacije potrebno je uraditi sistematsku reviziju stanja i prioritetnu sanaciju znakova kod kojih je narušena čitljivost. Sistematska revizija treba da obuhvati popis svih znakova u zoni, procenu stepena oštećenja, proveru retrorefleksije, proveru stabilnosti stuba, evidentiranje vandalizma i utvrđivanje prioriteta zamene.

Za poboljšanje stanja horizontalne signalizacije preporuka je obnova signalizacije primenom termoplastičnih materijala sa visokim stepenom retroreflektivnosti, koji obezbeđuju veću trajnost i bolju noćnu vidljivost u odnosu na klasične boje na svim pristupnim saobraćajnicama Kliničkom centru. Izbledle oznake na kolovozu je potrebno ponovo obeležiti i dodati nove na mestima gde je to potrebno. Primer je obeležavanje novog pešačkog prelaza u Deligradskoj ulici blizu ukrštanja sa ulicom dr Subotića starijeg, gde je tokom terenskog istraživanja uočeno veliki broj nepropisnih prelazaka.

Za poboljšanje stanja kolovoza potrebno je odraditi čišćenje pukotina komprimovanim vazduhom i ispunjavanje elastičnim bitumenskim masama, kako bi se sprečio prodor

vode. A na mestima gde su pukotine rasprostranjene i sistemske, preporučuje se presvlačenje habajućeg sloja i obnova horizontalne signalizacije nakon sanacije.

4.3. Unapređenje podsistema parkiranja

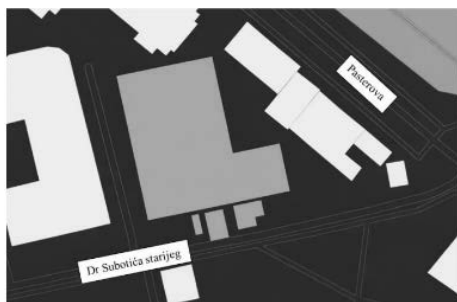
Predloženo rešenje podrazumeva: (1) izgradnju podzemne garaže koja bi preuzela postojeće kapacitete uličnog parkiranja (slika 3), (2) obezbeđivanje dovoljnog broja parking mesta za zaposlene, pacijente i posetioce, (3) rezervisane parking pozicije za osobe sa invaliditetom, trudnice i roditelje sa decom, (4) jasno organizovane prilazne i izlazne rampe radi nesmetanog saobraćajnog toka, (5) oslobađanje uličnog prostora za proširenje kolovoznih traka, pešačkih površina ili biciklističke infrastrukture i (6) sprovođenje detaljnijeg istraživanja o zahtevima za parkiranje. Poželjno je obezbediti i digitalni prikaz zauzetosti garaže na ulazima u kompleks ili mobilnoj aplikaciji, kako bi se smanjilo vreme traženja slobodnog parking mesta, a posledično i zagušenja time uzrokovana.

4.4. Unapređenje podsistema javnog prevoza

Pre svega, fizička pristupačnost stajališta mora biti prioritet. To podrazumeva izgradnju prilaznih rampi sa adekvatnim nagibom, postavljanje taktilnih staza za slepe i slabovide osobe, kao i obezbeđivanje dovoljno širokih trotoara bez barijera. Ivice trotoara treba prilagoditi niskopodnim autobusima, kako bi se omogućio lak ulazak i izlazak putnika u invalidskim kolicima ili uz pomoć pomagala. Površine na stajalištima treba da budu ravne, neklizajuće i redovno održavane. Pored infrastrukturnih prilagođavanja, važno je unaprediti informativni sistem. Postavljanje jasne i čitljive signalizacije, elektronskih displeja sa informacijama o dolascima vozila, kao i zvučnih obaveštenja značajno bi olakšalo snalaženje osobama sa senzornim oštećenjima. Oznake treba da budu postavljene na visini dostupnoj osobama u invalidskim kolicima, a informacije pružene u pristupačnim formatima.

5.5. Unapređenje kolovoza

Kao predlog za unapređenje kolovoza predlaže se uvođenje koloristički naglašenih kružnih oznaka na kolovozu u Tiršovoj i Pasterovoj ulici, koje bi vizuelno najavljivale ulazak u zonu povećane osetljivosti i podsticale vozače na oprezniju vožnju i smanjenje brzine (Slika 4). Ovakvo rešenje doprinosi većoj bezbednosti pešaka, posebno dece i korisnika bolnice, ali i stvaranju prijatnijeg i manje formalnog ambijenta ulica.



Slika 3. Mikrolokacija planirane podzemne garaže



Slika 4. Zona za usporenje u Tiršovoj ulici

5. ZAKLJUČAK

Sprovedena analiza pokazala je da na području Kliničkog centra Srbije postoje brojni infrastrukturni i organizacioni nedostaci koji negativno utiču na pristupačnost, bezbednost i kvalitet kretanja različitih grupa korisnika. Posebno se izdvajaju problemi u pešačkoj infrastrukturi, parkiranju, stanju saobraćajne signalizacije i kolovoza, kao i pristupačnosti sistema javnog prevoza.

Predložene mere unapređenja, zasnovane na principima humanog inženjeringa i univerzalnog dizajna, usmerene su na stvaranje bezbednijeg, pristupačnijeg i funkcionalnijeg prostora za sve korisnike Kliničkog centra. Njihova planska i fazna primena mogla bi doprineti unapređenju kvaliteta saobraćajnog sistema i stvaranju inkluzivnijeg zdravstvenog kompleksa, sa posebnim fokusom na potrebe osoba sa ograničenom mobilnošću.

LITERATURA

- [1] Putevi Srbije (2012). Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji. Funkcionalni elementi i površine puteva.
- [2] Elliott, J; Lohse, K; Toole, J; Lockwood, I; Barlow, J; Bentzen, B; Porter, C (2017). ACCESSIBLE SHARED STREETS. U.S Department of Transportation Federal Highway Administration
- [3] Levenson Boodlal (2003). Accessible Sidewalks and Street Crossings. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration

SUMMARY

Human Engineering in Cities: An Accesability Analysis of the Clinical Centre of Serbia

Abstract: The principles of human engineering, as an interdisciplinary approach to the design of spaces, infrastructure, and systems, are increasingly assuming a primary role in the planning and shaping of urban environments. Despite the growing importance of the concept of inclusive design, many public spaces and facilities are still not fully adapted to the needs of all users due to infrastructural and traffic-related barriers that limit their accessibility. This issue is particularly pronounced in the areas surrounding healthcare facilities, which are used daily by the most vulnerable road users of different abilities, age groups, and needs. Starting from the need to ensure equal access to and use of healthcare services, the aim of this paper is to analyse the accessibility of the Clinical Centre of Serbia, taking into account the functioning of the transport system and the quality of infrastructure intended for different user groups. Particular attention is focused on identifying key spatial and physical barriers that reduce the accessibility, safety, and functionality of the healthcare complex. Based on the results of field research, a comprehensive analysis was conducted of the street network, traffic signage, the characteristics of motorised and non-motorised users, parking, and the functionality of the public transport system. Among the most significant identified problems are deficiencies in pedestrian infrastructure and accessibility features, inadequate parking organisation, and

insufficient maintenance of transport infrastructure. By proposing appropriate design solutions, this paper contributes to the development of a methodological framework and provides support to decision-makers in identifying priorities and defining measures to improve the accessibility of the healthcare complex in accordance with the principles of inclusive design and human engineering.

Key words: accessibility, Clinical Centre of Serbia, human engineering, inclusive design, persons with reduced mobility

Metamorfaza gradskog centra: urbanističke i saobraćajne posledice koncepta grada bez automobila

Ranka Gajić, Saobraćajni fakultet, Beograd, r.gajic@sf.bg.ac.rs

Svetlana Batarilo, Saobraćajni fakultet, Beograd, s.batarilo@sf.bg.ac.rs

Ana Trpković, Saobraćajni fakultet, Beograd, a.trpkovic@sf.bg.ac.rs

Branimir Stanić, Saobraćajni fakultet, Beograd, b.stanic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Savremeni koncepti urbanog razvoja sve intenzivnije promovišu transformaciju gradskih centara u prostore namenjene ljudima, uz ograničavanje dominantne uloge automobila. „Učiniti gradove i ljudska naselja inkluzivnim, bezbednim, prilagodljivim i održivim“ jedan je od 17 globalnih ciljeva Agende UN za održivi razvoj do 2030. U skladu sa tim ciljem, gradovi razvijenog sveta redefinišu saobraćaj kako bi smanjili emisije CO₂ i upotrebu fosilnih goriva. Sve češće se uvode koncepti „grada bez automobila“, „zelenog“ i „zdravog grada“, uz podsticanje aktivne mobilnosti i javnog prevoza, i ograničavanje automobila u centralnim zonama. Međutim, u pojedinim slučajevima ovi koncepti se uvode kao trend, bez dovoljno detaljne planske analize njihovog uticaja na druge urbane funkcije. Posledice se posebno odražavaju na funkcionisanje saobraćajnog sistema, ali i na grad u celini, kroz promene u poslovnim i stambenim sadržajima, javnom prevozu, korišćenju automobila i stacionarnom saobraćaju.

Polazeći od rada predstavljenog na TESI konferenciji 2024. g, „Metamorfaza gradskog centra – od saobraćajnih gužvi do pešačkih oaza – aspekt urbanističkog planiranja“ [1], koji se bavio problemom parkiranja u centralnim zonama, ovaj rad razmatra šire posledice transformacije tradicionalnog jezgra u „car-free“ zonu i njen uticaj na urbani sistem. Na primeru Beograda i drugih evropskih gradova prikazan je pristup analizi efekata ovih mera na gradsko jezgro, neposredno okruženje i periferiju, sa posebnim osvrtom na saobraćajnu mrežu, morfološko-funkcionalne promene, kao i socijalne i ekonomske aspekte koji se često zanemaruju u odnosu na ekološke ciljeve. Rad postavlja okvir za dalje naučnoistraživačko promišljanje i ukazuje na moguće pravce budućeg istraživanja. Sprovedena pilot-analiza pruža osnovu za sagledavanje razmatranog problema, dok su obim i nivo razrade diskusije o rezultatima primereni njenom obimu.

Ključne reči: Agenda UN 2030, „car-free“ zone, transformacija centra grada; održiva mobilnost

1 UVOD

Transformacija gradskih jezgara danas podrazumeva istovremeno sagledavanje prostornih, funkcionalnih, društvenih i saobraćajnih promena koje nastaju kao posledica promenjenog načina korišćenja centralnih područja. Na konferenciji ULI Europe 2026 u Berlinu istaknuto je da se urbani izazovi, poput stanovanja, ne mogu rešavati parcijalno, bez sagledavanja širih sistemskih efekata [2, 3]. Ista logika primenjuje se i na transformaciju saobraćaja u gradskim jezgama: uvođenje „car-free“ zone nužno proizvodi

efekte izvan granica same zone – na okolne stambene i poslovne sadržaje, preraspodelu tokova prevoza i organizaciju stacionarnog saobraćaja u širem gradskom tkivu. Zbog toga se efekti uvođenja „car-free“ režima ne mogu procenjivati samo prema promenama unutar zone, već i prema promenama koje nastaju u njenom neposrednom i širem urbanom okruženju.

2 METODOLOGIJA

U radu je sprovedena uporedna studija slučaja četiri evropska grada — Ljubljane, Osla, Kopenhagena i Beograda, sa ciljem analize socijalnih i ekonomskih efekata transformacije gradskih jezgara u „car-free“ zone.

Za svaki grad analizirani su prostorni i demografski podaci, morfološki tip, obim i pravni osnov transformacije, kao i tri seta efekata: **//1_kvalitet života sagledan kroz teme snabdevanja i prisustva zelenila, //2_tržište nekretnina i //3_privredna dinamika – trgovina, poslovanje**, po gradijentu centar–širi centar-periferija. Izvori su hijerarhizovani po pouzdanosti (akademski radovi, zvanična dokumenta, stručna publicistika, komercijalni portali). Usled neujednačene dostupnosti podataka prioritet je dat relativnim nad apsolutnim pokazateljima (procene, procenti i sl.)

Za svaki grad je uporedo sagledan i saobraćajni aspekt transformacije gradskog centra, kroz strukturu i hijerarhiju saobraćajne mreže, položaj i obuhvat „car-free“ zone, pristup i povezanost centralnog područja različitim vidovima saobraćaja, režim automobilske saobraćaja i parkiranja, kao i odnos „car-free“ zone prema gradskom centru.

3 STUDIJE SLUČAJA

3.1 Oslo, Norveška

Oslo obuhvata 454 km² sa oko 720.570 stanovnika (popis 2024.) [4], sa gustinom od oko 1.580 st./km². Grad se razvio u obliku amfiteatra duž fjorda, okružen zaštićenim šumovitim brdima koja čine 40% teritorije opštine. „Car-free“ program „Bilfritt byliv“ pokrenut je 2015–2016. i obuhvata oko 130 hektara centralnog područja [5].

1_Stanovnici Osla suočavaju se sa padom trgovine u centru, gde mali trgovci teže posluju usled onlajn kupovine i mera projekta „Bilfritt byliv“, dok veliki tržišni centri — u centru i na periferiji — održavaju stabilniji promet. Studija [5] beleži blago pozitivne efekte u odnosu na zadovoljstvo dostupnim sadržajima snabdevanja stanovnika centra poslednjih godina. „Car-free“ program direktno je generisao novo zelenilo u samom jezgri (kroz „parklete“ i „džepne parkove“), uklapajući se u širi gradski kontekst izuzetno visokog nivoa ozelenjenosti (Oslo je 2026. rangiran kao najzeleniji grad na svetu).

2_Cene stanova u centralnim četvrtima više su i do dva puta od onih na periferiji, uz izraženiji rast upravo u delovima bližim centru.

3_Uvođenje programa naišlo je na početni otpor [6], ali trajan negativan efekat na poslovanje se nije potvrdio.

Saobraćajna mreža Osla ima kombinovanu, odnosno hibridnu strukturu, u kojoj se prepliću radialno-prstenasti i ortogonalni sistemi, uz izraženo prilagođavanje prirodnoj topografiji grada. U istorijskom jezgri prisutna je pravilnija ortogonalna mreža, dok se prema širem centru i periferiji struktura prilagođava reljefu. Saobraćajni sistem je

dodatno organizovan kroz tri koncentrična prstena – Ring 1, Ring 2 i Ring 3 – koji povezuju centralno područje sa širim gradskim prostorom. „Car-free“ transformacija („Bilfritt byliv“) obuhvata uže centralno područje, gde se ograničavanjem automobilske saobraćaja i uklanjanjem parkinga površinska mreža preusmerava ka pešačkom i biciklističkom saobraćaju, dok se tranzitni i deo pristupnog automobilske saobraćaja premešta na obodne pravce i tunnelsku mrežu. Na taj način „car-free“ zona ostaje povezana sa širom mrežom, ali se funkcije automobilske, javnog, biciklističkog i pešačkog saobraćaja prostorno razdvajaju.

3.2 *Kopenhagen, Danska*

Gradska opština Kopenhagen obuhvata 90,9 km² sa oko 673.580 stanovnika [2026, 7], pri gustini od oko 7.410 st./km². Prostorni razvoj zasnovan je na modelu „Finger Plan“ (1947) — radijalno širenje duž pet glavnih železničkih pravaca koje polaze iz gustog centralnog gradskog tkiva, uz zelene „klinove“ između njih [7]. Pešačka zona u centru (1962.) je glavna, ali ne i jedina mera transformacije saobraćaja. Kopenhagen je kroz postepene, dugoročno planirane aktivnosti izvršio širi preobražaj u pravcu „zdravog grada“, u kome više od polovine stanovništva svakodnevno vozi bicikl. Ovo je, između ostalog, omogućeno i velikim ulaganjima u izgradnju metroa [8, 9].

1_Stanovnici jezgra Kopenhagena suočavaju se sa opadanjem svakodnevne trgovine (svaki jedanaesti lokal je prazan) i porastom onlajn dostave, dok periferija nudi bogatu, planski razvijenu ponudu kroz velike tržne centre dobro povezane javnim prevozom. Prisustvo zelenila u Kopenhagenu raste od centra ka periferiji, ali je to posledica brojnih privatnih dvorišta u perifernim naseljima, a ne nužno boljeg pristupa javnim parkovima.

2_U delovima centra cena dostiže dvostruko višu vrednost nego u perifernim četvrtima.

3_Jezgro gubi sadržaje zbog kombinacije rasta praznih lokala (11%, duplirano za poslednjih deset godina) i strukturne promene načina kupovine (e-trgovina) [8, 9].

Saobraćajna mreža Kopenhagena predstavlja hibridni sistem koji kombinuje istorijsku radijalno-koncentričnu strukturu starog jezgra sa savremenim prstenastim i linearnim saobraćajnim pravcima. Istorijsko jezgro („Indre By“) karakteriše gusta mreža uskih i nepravilnih ulica, dok je deo centralnog područja postepeno transformisan u pešačke zone. „Car-free“ režim je tako integrisan u samo gradsko jezgro, gde se ograničavanjem motornog saobraćaja površinska ulična mreža preusmerava ka pešačkom i biciklističkom kretanju, uz očuvanu povezanost centra sa širom mrežom javnog prevoza. Najpoznatiji primer je pešačka zona „Strøget“, koja predstavlja jednu od glavnih centralnih pešačkih osa. Na taj način „car-free“ prostor nije izdvojen zona izvan saobraćajnog sistema, već deo šire transformacije centralne mreže, u kojoj se funkcija ulica postepeno pomera od motornog ka nemotorizovanom saobraćaju.

3.3 *Ljubljana, Slovenija*

Ljubljana se prostire na 275 km² sa oko 297.580 stanovnika [10] i gustinom naseljenosti od 1.080 stanovnika po km². Prostorna struktura grada odgovara monocentrično-radijalnom tipu [10]. Noviji izvori [11] navode da ukupna pešačka zona u centru Ljubljane, uključujući naknadna proširenja, danas obuhvata oko 20 hektara.

1_U jezgru, specijalizovane radnje i zanati ustupaju mesto ugostiteljstvu okrenutom turistima, uz nestajanje bazične infrastrukture [12]. Na periferiji nedostaju sadržaji namenjeni svakodnevnim potrebama stanovnika, u nekim slučajevima beleži se nedostatak zelenila [12].

2_Cene stanova u periodu 2015–2024. porasle su u svim delovima grada, ali je rast bio izraženiji na periferiji (do +149%) nego u samom jezgru (+104%) [13].

3_Jezgro beleži monokulturizaciju ka ugostiteljstvu i turizmu, širi centar tercijarizaciju (dominaciju trgovine i usluga), a periferija fizičku ekspanziju kroz „greenfield“ razvoj logističko-trgovinskih zona [12].

Saobraćajna mreža Ljubljane kombinuje radijalne saobraćajne pravce koji povezuju centar sa periferijom sa unutrašnjim prstenom koji omogućava distribuciju saobraćaja oko užeg gradskog jezgra. Istorijsko jezgro karakteriše gusta mreža ulica, najvećim delom prilagođena pešačkom kretanju, dok su glavne saobraćajnice i auto-putski prsten usmereni na povezivanje šireg gradskog područja i preuzimanje tranzitnih tokova. „Car-free“ transformacija obuhvata istorijsko jezgro, koje je zatvoreno za motorni saobraćaj, dok unutrašnji prsten preuzima funkciju distribucije saobraćaja izvan pešačke zone. Pojedine centralne saobraćajnice, poput Slovenske ceste, transformisane su u prostor sa prioritetom javnog prevoza, pešaka i biciklista. Povezanost car-free centra sa širim gradskim sistemom ostvaruje se mrežom autobusnog prevoza i sistemom P+R na periferiji, čime se deo automobilske saobraćaja zaustavlja izvan centralne zone.

3.4 Beograd, Srbija

Beograd obuhvata oko 3.220 km², uz populaciju od oko 1.685.600 stanovnika (popis 2022.), sa gustom od oko 3.080 st./km². Prostorno i morfološki Beograd ima heterogenu, policentričnu strukturu: ortogonalnu matricu u okviru ravničarskog dela (sever) i radijalnu u okviru brežuljkasto-brdovitog tla Šumadije (jug). Pešačka zona Knez Mihailove ulice duga je oko 1 km. Saobraćaj motornih vozila zabranjen je 1975, a ulica je temeljno rekonstruisana kao pešačka 1987–1988. Širenje pešačke zone oko Knez Mihailove sprovedeno je tokom 2018. i delimično 2019. godine na osnovu rešenja Sekretarijata za saobraćaj, bez detaljne planske dokumentacije i definisane faznosti realizacije uz značajan otpor javnosti i lokalnog stanovništva [14, 15].

2_Najveći procentualni rast cena stanova u periodu 2024–2025. godine beleže periferne i udaljenije opštine — Palilula (+149%), Voždovac (+150%) i Novi Beograd (+118%) — dok centralne opštine pokazuju znatno umereniji rast (Vračar +67%, Stari grad +77%); opština Savski venac, uprkos statusu najskuplje opštine, beleži gotovo stagnaciju (+16%).

1_, 3_Ova zona danas funkcioniše prvenstveno kao trgovačko-ugostiteljska zona okrenuta turizmu. Pretraga na internetu nije ukazala na postojanje akademski verifikovanih istraživanja koja bi direktno i pouzdano povezala transformaciju Knez Mihailove/šire zone (2017–2019) sa konkretnim efektima na poslovanje i snabdevanje. Za pitanje prisustva zelenila takođe ne postoje akademski ili stručno verifikovani izvori koji bi povezali transformaciju Knez Mihailove/šire zone, sa konkretnim, merljivim efektima na količinu ili kvalitet zelenila u jezgru, širem centru ili na periferiji Beograda.

Za razliku od prethodno analiziranih primera, **Beograd karakteriše složena i heterogena urbana i saobraćajna struktura**, sa više centralnih područja i izraženim

razlikama između istorijskog jezgra i novijih delova grada. Uličnu mrežu starog dela grada čine pretežno nepravilni i radijalni pravci, prilagođeni brdovitoj morfologiji terena, dok Novi Beograd karakteriše pravilnija ortogonalna mreža širokih saobraćajnih pravaca i velikih blokova. Istovremeno, nedovoljno razvijena transversalna povezanost i ograničena prstenasta mreža u centralnom području utiču na distribuciju saobraćaja. „Car-free“ transformacija u Beogradu koncentrisana je na pojedine delove istorijskog centra, pre svega u području Knez Mihailove ulice i okolnih pešačkih prostora, uz tendenciju širenja zone. Centar ostaje dostupan automobilom do granica centralnih pešačkih zona, ali su kapaciteti uličnog i vanuličnog parkiranja ograničeni, posebno za dugotrajniji boravak. Mogućnost dužeg parkiranja uglavnom je vezana za parking garaže, dok režim zoniranog parkiranja i vremenska ograničenja dodatno destimulišu dugotrajno zadržavanje vozila. Istovremeno, mreža autobusnog, tramvajskog i trolejbuskog prevoza, kao i BG voz, obezbeđuje alternativnu dostupnost centralnog područja.

4 PREDLOG ZA DALJA, ŠIRA ISTRAŽIVANJA

Svaki od izabranih gradova za analizu u ovom radu je sproveo predmetnu intervenciju u tradicionalnom jezgru - ukidanje ili ograničavanje kretanja privatnih vozila, uz podsticanje aktivne mobilnosti, pre svega pešačenja i biciklizma. Istovremeno, izbor gradova podrazumevao je njihovu međusobnu različitost u pogledu strukture i veličine, kao i pripadnosti državama sa raznorodnim društveno-političkim, ekonomskim i kulturološkim kontekstima, sa ciljem da se u ovoj pilot-analizi uoče moguće sličnosti i obrasci koji se javljaju bez obzira na genezu, fizičku strukturu i veličinu grada, kao i širi društveni kontekst. Tako, pravci daljih naučnih istraživanja podrazumevaju proširivanje istraživačkog uzorka na veći broj gradova i različite urbano-saobraćajne kontekste, ali i neposredno ispitivanje iskustava i zadovoljstva različitih korisnika centralnih zona.

Konkretno, za naučnoistraživački projekat koji bi bio pokrenut sa ciljem istraživanja i dokazivanja hipoteze da predmetne intervencije u centralnim zonama gradova imaju šire posledice na ukupnu urbano-saobraćajnu strukturu, predlog plana istraživanja je :

//Primarna faza ***UTVRĐIVANJE GRADOVA ZA ANALIZU:**

- definisati kriterijume za izbor gradova iz najšireg skupa potencijalnih slučajeva;
- na osnovu definisanih kriterijuma izvršiti analizu i klasifikaciju potencijalnih gradova prema relevantnim karakteristikama i formirati grupe;
- iz svake grupe odabrati reprezentativne gradove za dalju analizu, u skladu sa prethodno definisanom metodologijom;
- za odabrane gradove sistematizovati relevantne podatke: prostorna struktura i morfološki tip, demografske karakteristike, obim intervencije, pravni osnov itd...

//Sekundarna faza ***URBANISTIČKO-PROSTORNO-SAOBRAĆAJNA ANALIZA EFEKATA (PROFESIONALNA VIZURA)**

- sprovesti urbanističko-prostornu i saobraćajnu analizu efekata predmetnih intervencija u odabranim gradovima;
- analizirati efekte na tri prostorna nivoa: gradsko jezgro (centar), neposredno okruženje (širi centar) i periferija;

- ispitati morfološko-funkcionalne promene u prostoru nastale kao posledica intervencije;
- posebno analizirati posledice po saobraćajno-transportni sistem, obrasce kretanja u gradu i funkcionisanje saobraćajne mreže;
- na osnovu sprovedenih analiza utvrditi moguće sličnosti, obrasce i razlike između odabranih gradova i grupa gradova.

NAPOMENA: U radu, u poglavljima 2 i 3, je dat predlog i primena metodologije za sekundarnu fazu, za odabrana četiri grada i to posebno sa stanovišta ekonomskog i socijalnog aspekta. Ipak, za potrebe sveobuhvatnog projekta, preporuka je da se metodologija svakako proširi i stanovištem sa pozicije ekološkog aspekta.

//Tercijarna faza ***STAV JAVNOSTI:**

- sprovesti analize navedene u prethodnoj fazi u kontekstu istraživanja stava javnosti u odnosu na postignute efekte.

//Finalna faza ***SINTEZA REZULTATA:**

- izvršiti sintezu rezultata sprovedenih analiza sa ciljem utvrđivanja efekata formiranja „car-free“ zona u centralnim gradskim zonama na širu urbanu strukturu i funkcionisanje grada;
- identifikovati zajedničke obrasce, sličnosti i razlike u efektima predmetnih intervencija, uz uvažavanje specifičnosti prostornog, saobraćajnog, društvenog, ekonomskog i kulturološkog konteksta analiziranih gradova.

5 ZAKLJUČAK

Pilot analiza četiri odabrana grada pokazuje da „car-free“ transformacija gradskih jezgara, pored smanjenja dominantnosti automobilske saobraćaja i unapređenja kvaliteta javnog prostora, može imati šire prostorne, funkcionalne i društveno-ekonomske posledice koje prevazilaze neposredno obuhvaćenu zonu. Za razliku od Ljubljane, Osla i Kopenhaga, gde su uvođenje „car-free“ zona pratili javno dostupni, višegodišnji strateški dokumenti (npr. „Vizija 2025“, „Bilfritt byliv“), proces širenja pešačke zone u Beogradu 2017–2019. odvijao se bez javne rasprave, grafičke dokumentacije ili definisane dinamike sprovođenja — isključivo putem administrativnog rešenja objavljenog u službenom glasilu.

Za razmatrane gradove koji su prošli kroz društveno-političku tranziciju (Ljubljana, Beograd), može se uočiti da gradsko jezgro gubi svakodnevne komercijalne i druge sadržaje (prodavnice, zanate, i sl.) u korist turističko-ugostiteljske ponude; stanovnici se sele u širi centar/periferiju, gde pritisak tražnje podiže vrednost nekretnina. U analiziranim gradovima sa tradicijom tržišne ekonomije (Oslo, Kopenhagen), problem gubitka sadržaja u jezgru grada je prepoznat kao značajan i gradske vlasti rade na poboljšanju stanja. Prostorna distribucija stanovanja i dalje daje prednost stanovanju u centru odnosu na periferiju u ovim gradovima.

U saobraćajnom smislu, iako je „car-free“ transformacija u sva četiri predstavljena grada usmerena pre svega na istorijska jezgra, njen odnos prema širem centru se razlikuje: u Ljubljani i Oslu zona je jasno prostorno izdvojena, dok se u Kopenhagu i Beogradu odvija kroz postepeno širenje i preuređenje centralne mreže. Ključno pitanje koncepta grada bez automobila nije samo kako osloboditi gradsko jezgro od motorizovanih korisnika, već kako njegovom transformacijom sačuvati ono što centar čini

živim i dostupnim – stanovnike, svakodnevne sadržaje, različite korisnike i funkcionalnu raznovrsnost. Analizirani primeri ukazuju da postoji veliki rizik da se „car free“ transformacijom centra istovremeno i izgubi deo svakodnevnog gradskog života.

Regeneracija i transformacija gradskih jezgara u tom smislu predstavljaju dugoročne procese koji zahtevaju koordinisano planiranje i razumevanje kumulativnih efekata na ukupan urbani sistem, a ne samo na neposredno zahvaćeni prostor. Ovim radom ukazuje se na problem i sugeriše profesionalcima da uključe njegovo razmatranje i rešavanje u buduća istraživanja.

Posebno bi bilo značajno utvrditi da li korisnici „car-free“ prostora njihovu transformaciju doživljavaju samo kao unapređenje kvaliteta javnog prostora ili i kao promenu dostupnosti, funkcionalnosti i svakodnevne urbanosti centra.

LITERATURA

- [1] Gajić, R., Batarilo, S. (2024) Metamorfoza gradskog centra – od saobraćajnih gužvi do pešačkih oaza – aspekt urbanističkog planiranja, Zbornik radova XIV Konferencije TESI, Zlatibor, Oktobar 2024., Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, st.424-430.
- [2] Urban Land, ULI Staff, June 15, 2026. Can Europe Stay Competitive in a Fragmented World? <https://bit.ly/3SS2ftG>, pristup: 25.08.2026.
- [3] Mouratidis, K. (2025). Reducing car dependence: Benefits, strategies, unintended consequences, and future directions of post-car urban transitions. *Planning Practice & Research*, 40(4), 889–910. <https://doi.org/10.1080/02697459.2025.2507325>
- [4] Oslo kommune / Statistics Norway (SSB). (2024). Population statistics for Oslo municipality [Data set]. <https://www.ssb.no>, pristup: 25.08.2026.
- [5] Hagen, O. H., & Tennøy, A. (2021). Street-space reallocation in the Oslo city center: Adaptations, effects, and consequences. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 97, Article 102944. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102944>
- [6] Wylie, D. (2019). Reducing business opposition to car-free city centers: The case of Oslo [Master's thesis, IIIIEE, Lund University]. Lund University Publications.
- [7] Danish Ministry of the Environment / Nature Agency. (2015). The Finger Plan 2013: A strategy for the development of the Greater Copenhagen. <https://bit.ly/4isoXD2>
- [8] Bendix, A. (2019, January 12). 15 major cities around the world that are starting to ban cars. *Business Insider*. <https://bit.ly/4ggsTFF>, pristup: 25.08.2026.
- [9] Project for Public Spaces. (n.d.). Strøget [Case study]. <https://www.pps.org/places/stroget>
- [10] Rebernik, D. Ljubljanska urbana regija – razvojni trendi, problemi in možnosti. *Dela*, 19, 165–176. <https://journals.uni-lj.si/Dela/article/download/1401/1205/2789>
- [11] <https://www.ljubljana.si/assets/Uploads/Dostopna-Ljubljana-SLO-E.pdf> /25.08.2026.
- [12] Brdnik, Ž. (2021, 5. jun). Kakšne so posledice privlačnega in urejenega centra največjih slovenskih mest: Ljubljane in Maribora. *Večer*. <https://bit.ly/4xRRzu2>, pristup: 25.08.2026.
- [13] GURS Геодетска управа Републике Словеније (Geodetska uprava Republike Slovenije)
- [14] Rešenje o određivanju ulica za pešački saobraćaj na teritoriji grada Beograda - pešačke zone, *Sl. List grada Beograda*, 66/17, 25.09.2017. <http://www.sllistbeograd.rs/pdf/2017/66-2017.pdf#view=Fit&page=117>, pristup: 25.08.2026.
- [15] Bogdanović, R., Gajić, R., Batarilo, S. (2019) Housing in Belgrade Town Center – Twenty Years After, International Scientific Conference, IMPEDE 2019, “Environmental impact of illegal construction, poor planning and design”, Belgrade, Serbia, 481-490.

The Metamorphosis of the City Centre: Urban Planning and Traffic Implications of the Car-Free City Concept

Abstract: Contemporary concepts of urban development are increasingly promoting the transformation of city centres into people-oriented spaces, limiting the dominant role of the automobile. "Making cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable" is one of the 17 global goals of the UN 2030 Agenda for Sustainable Development. In line with this goal, cities of the developed world are redefining traffic in order to reduce CO₂ emissions and the use of fossil fuels. Concepts such as the "car-free city," the "green city," and the "healthy city" are being introduced with increasing frequency, encouraging active mobility and public transport, and restricting car use in central zones. However, in certain cases these concepts are introduced as a trend, without a sufficiently detailed planning analysis of their impact on other urban functions. The consequences are particularly reflected in the functioning of the transport system, as well as in the city as a whole, through changes in business and residential content, public transport, car use, and stationary traffic.

Building on the paper presented at the TESI Conference 2024, "Metamorphosis of the City Centre – From Traffic Congestion to Pedestrian Oases – An Urban Planning Perspective," which addressed the problem of parking in central zones, this paper considers the broader consequences of transforming the traditional centre into a "car-free" zone and its impact on the urban system. Using the example of Belgrade and other European cities, the paper presents an approach to analyzing the effects of these measures on the urban core, its immediate surroundings, and the city periphery, with particular attention to the transport network and morphological-functional changes, as well as the social and economic aspects that are often neglected relative to environmental goals. The paper sets a framework for further scientific-research reflection and points to possible directions for future research. The pilot analysis conducted provides a basis for examining the problem under consideration, while the scope and level of elaboration of the discussion of results are appropriate to its scale.

Key words: UN Agenda 2030, car-free zone, city centre transformation, sustainable mobility

Katastar saobraćajne signalizacije i opreme Grada Beograda

Milinko Jelisavčić, Sekretarijat za saobraćaj, Beograd, email: milinko.jelisavcic@beograd.gov.rs

Rezime: Zbog značaja saobraćajne signalizacije kao elementa u zatvorenom kibernetičkom sistemu vozilo-vozač-okruženje, neophodno je posedovati ažurnu i prostorno preciznu bazu podataka o saobraćajnoj signalizaciji i opremi radi efikasnijeg i kvalitetnijeg upravljanja putnom infrastrukturom, donošenja kvalitetnijih odluka u svakodnevnom radnim aktivnostima, vrednovanja varijantnih rešenja i formiranje brzih odgovora. Katastar saobraćajne signalizacije formiran kroz GIS tehnologiju je odgovarajući alat za ove namene.

Izradom katastra saobraćajne signalizacije (KSS) formirana je aktivna prostorna baza podataka sa postojećim stanjem saobraćajne signalizacije i opreme na uličnoj mreži Beograda, precizno se evidentira imovina grada i sprovodi kvalitetnije održavanje saobraćajne signalizacije i opreme.

Katastar saobraćajne signalizacije je deo jedinstvene evidencije saobraćajno-tehničkih mera u okviru digitalne saobraćajne karte grada Beograda, informaciona osnova za upravljanje saobraćajem i dinamičkom kartom saobraćajnica.

Sekretarijat za saobraćaj je do 2026. godine završio šest faza izrade KSS, kojima je snimljeno 4320 km ulične mreže grada Beograda, a u pripremi je i sledeća faza snimanja.

Svi atributi o postojećoj putnoj infrastrukturi, saobraćajnoj signalizaciji, opremi i drugim objektima postoje u georeferenciranoj bazi podataka sa 70 (sedamdeset) tabela. Uz digitalizovani prikaz grada sa svim snimljenim podacima nalazi se i realni prikaz grada sa oblakom tačaka i sfernim fotografijama (Street view) koji daju sliku ulične mreže grada i druge funkcionalnosti digitalne karte.

Aplikacija KSS se koristi u web okruženju i može se videti javno, sa ograničenim funkcionalnostima, na adresi: <https://kssbq.geo.rs> [1]

Ključne reči: katastar, saobraćajna signalizacija, saobraćajna oprema, Beograd

1 UVOD

Sušтина i fundamentalni razlog za uspostavljanje jedinstvenog Katastra saobraćajne signalizacije, kao strateškog alata za savremeno upravljanje putnom infrastrukturom je ta što on predstavlja jedan od ključnih elementa za regulaciju saobraćajnih tokova i direktno utiče na bezbednost unutar složenog sistema upravljanja saobraćajem.

Međutim, efikasno upravljanje u urbanim sredinama često je otežano usled parcijalnih, zastarelih ili teško pretraživih podataka na terenu. Glavni razlog za formiranje KSS leži u neophodnoj tranziciji sa tradicionalnog vođenja evidencije na savremeni, centralizovani digitalni sistem. Ovakav sistem omogućava brzo uočavanje i otklanjanje anomalija na uličnoj mreži, čime se direktno podiže nivo bezbednosti svih učesnika. Integracijom prostornih podataka u napredne GIS i CAD strukture, ovaj projekat postavlja

čvrstu tehničku osnovu za potpunu vizuelizaciju prostora. Na taj način, KSS prestaje da bude samo tehnički popis, već postaje dinamičan i dugoročan alat za brzo, efikasno i kvalitetno donošenje sistemskih odluka u realnom vremenu.

1.1 Pravni osnov

Sekretarijat za saobraćaj kao deo gradske uprave grada Beograda ima nadležnosti u oblasti saobraćaja koje su uređene pozitivnim pravnim propisima:

- *Zakonom o bezbednosti saobraćaja na putevima*
- *Zakonom o putevima*
- *Zakonom o planiranju i izgradnji*
- *Statutom grada Beograda*
- *Odlukom o gradskoj upravi grada Beograda*
- *Odlukom o ulicama, lokalnim i nekategorisanim putevima* [2-7]

2 ORGANIZACIONA STRUKTURA KSS [1]

Osnovu organizacione strukture čine elementi ulične mreže – Deonice (centralna linija kolovoza koja spaja dva čvora) i Čvor (tačka ukrštanja deonice), koji svojim šiframa služe kao sekundarni ključevi (foreign key) za povezivanje svih ostalih georeferenciranih objekata u jedinstvenu relacionu bazu podataka.

2.1 Elementi katastra u gis formatu

Ovaj deo obuhvata prostorne baze podataka strukturirane u File Geodatabase formatu sa pripadajućim alfa-numeričkim atributima, podeljene u sledeće organizacione celine:

2.1.1 Elementi ulične mreže (Prostorni prikaz putna infrastrukture)

Deonice, Čvorovi, Centralne linije kolovozne trake, Centralne linije saobraćajne trake, Granica kolovoza – ivičnjak, Poligon kolovoza, Spoljnje ivice trotoara, Srednje razdelne trake, Ostrva za odvajanje saobraćajnih traka, Razdelni pojas, Ivične razdelne trake, Pešačka ostrva, Centralne linije tramvajskih šina, Centralne linije biciklističkih trasa, Poligon trotoara.

2.1.2 Nosači saobraćajne signalizacije

Stub, Portal, Konzola, Nastavak na stub

2.1.3 Saobraćajni znakovi

Prostorni prikaz i baza podataka saobraćajnih znakova, uključujući i merenja retrorefleksije na terenu.

2.1.4 Dopunske table

Prostorni prikaz i baza podataka dopunskih tabli uključujući i merenja retrorefleksije na terenu.

2.1.5 Turistička signalizacija BEOGRAD

Specifična grupa saobraćajnih znakova i panoa namenjenih za turističko obaveštavanje na teritoriji grada.

2.1.6 Oznake na putu

Uzdužne oznake na putu, Poprečne oznake, Strelice, Polja za usmeravanje saobraćaja, Oznake na površinama gde je zabranjen saobraćaj, Linija usmeravanja, Natpisi na kolovozu, Oznaka-ne blokiraj raskrnicu, Zabrana zaustavljanja i parkiranja, Stajališta javnog gradskog prevoza, Taksisti stajalište, Zona pešačkih prelaza u zoni škole, Oznake-parking mesta.

2.1.7 Oprema svetlosne signalizacije

Upravljački uređaj, Davači signala-lanterne, Taster za najavu pešaka ili biciklista, Davač zvučnog signala za slepe, Displej tajmera za odbrojavanje vremena, Detektorska petlja u kolovozu, Detektori iznad kolovoza.

2.1.8 Oprema ulice (puta)

Prateći tehnički elementi bezbednosti i zaštite na putu: Stubići, Saobraćajno ogledalo, Pešačke, žičane i zaštitne ograde, Montažni ivičnjak, Delineatori, Prepreke za usporavanje saobraćaja, Elementi prostornog vođenja slepih lica (taktilne staze), Brojači saobraćaja i petlje brojača saobraćaja, Kamere Sekretarijata za saobraćaj, Nastrešnice na stajalištima javnog prevoza, Dodatno osvetljenje na pešačkim prelazima, Markeri, Linearni katadiopteri, Indikatori vrha površine razdvajanja tokova, Stacionarni ublaživači udara.

2.1.9 Ostali georeferencirani elementi u profilu ulice

Stubovi javne rasvete koji ne nose saobraćajnu signalizaciju, Stabla zelenila, Rundele zelenila sa blokovima, Posude za odlaganje smeća, Stanični stubovi, Slivnici, Šahte, Bilbordi, Žardinjere, Info table za navođenje u parking garaže, Info table o slobodnim parking mestima.

2.2 Elementi katastra u cad formatu

Ovaj deo organizacione strukture predstavlja paralelnu geometrijsku bazu svih 70 prethodno navedenih elemenata prilagođenu za rad u .dwg formatu (za CAD orjentisane aplikacije). Svi elementi imaju organizuju kroz grafičke entitete kao što su: Tačke, Linije, Poligoni, Blokovi.

2.3 Kvantitativni rezime strukture kss

Ukupna baza se sastoji od 70 tabela, a većina njih ima preko 40000 elemenata:

- 59 georeferenciranih tabela koji se u GIS formatu prikazuju sa punim, detaljno definisanim setom alfa-numeričkih atributa kojih u proseku ima oko 30 po tabeli.
- 11 tabela (navedenih u tački 2.1.9.) koje se u GIS formatu prikazuju samo kao georeferencirani prostorni oblici, bez pratećih tekstualnih ili brojčanih atributa. [8]

3 NAČIN SNIMANJA

Korišćenjem LiDAR tehnologije ostvaruje se snimanje 3D oblika površine terena i objekata na njemu, oprema se koristi sa vozila u pokretu, a LiDAR uređaj je spregnut sa sfernom kamerom za snimanje u opsegu 360° (Mobile Mapping) minimalne relativne tačnosti ± 1 cm. Sferni snimci se prave na svakih 5 m duž pravca snimanja. U urbanim gradskim zonama, pored GPS/GNSS i INS sistema za pozicioniranje koristi se SLAM

tehnologija za precizno pozicioniranje u uslovima gde nema GPS/GNSS signal ili je isti oslabljenog kvaliteta.

Rezultat snimanja terena je skup trodimenzionalnih (XYZ) tačaka (Oblak tačaka) preko koga je mapirana sferna fotografija tako da je moguće meriti dimenzije i površine snimljenih objekata. Vršiti se i snimanje retrorefleksije svih saobraćajnih znakova.

Svi podaci se smeštaju u centralizovani digitalni repozitorijum iz kojih se formira geografsko informacioni sistem koji se prikazuje kroz operativnu WebGIS aplikaciju za terensku i međuinstitucionalnu koordinaciju. Podaci su georeferencirani i prilagođeni zvaničnom koordinatnom sistemu uz korišćenje globalnih transformacionih parametara i dati su u sledećim ekstenzijama: ESRI File Geodatabase (.gdb), .dwg, .jpg, .bmp, .ecw kao i u .las formatu za 3D oblak tačaka. [8]

4 FUNKCIONALNOSTI

Aplikacija je namenjena za prikaz i obradu podataka u 2D i 3D prostoru. Poput mapa u rasterskim i vektorskim formatima, koristi i oblak tačaka i sferne fotografije.

Aplikacija ima module administracije u kojima se vrše sve pripreme za rad, kreiranje korisnika, formiranje radnih grupa, upravljanje dozvolama korisnika, uvoz i pripremu prostornih podataka i formiranje projekata.

Pregled i upravljanje podacima putem mape ima standardne GIS funkcije, odabir projekta, prikaz slojeva na mapi, tabelarni prikaz atributa, izvoz sadržaja u GIS formatima (GDB, SHP, DXF, GeoJSON) i tabela u numeričkom obliku (CSV, XLSX), a tu su i alati za merenje objekata na oblaku tačaka. 2D Map Editor omogućava crtanja, uređivanje i otvaranje forme entiteta, pojedinačno i grupno selektovanje entiteta. 3D Map Editor ima mogućnost digitalizacije u prostoru preko oblaka tačaka i pomoću sfernih fotografija, popunjavanje geometrijskih i opisnih podataka u slojevima direktnom vektorizacijom. Aplikacija ima mogućnost popunjavanja atributne tabele, dodavanje fotografija i priloga entitetima.

U aplikaciji postoji mogućnost da se prostorni podaci uvoze i definišu kao izvori podataka. Ti podaci mogu da budu u fajlovima, relacionim bazama podataka ili u eksternim servisima kao što su GeoJSON, KML, WMS, GDB. Moguće je praviti konekcije prema udaljenim SQL serverima i eksternim „tile“ servisima kao što su Google Maps, Bing Maps.

Aplikacija omogućuje administriranje i rad sa trajektorijama. Trajektorije su celine snimanja oblaka tačaka uz koje se prikazuju i sferne fotografije, čime se dobija slika ulične mreže i potpuna vizuelizacija prostora.

WebGIS aplikacija razvijena je u „web“ tehnologiji, dostupna za upotrebu kroz popularne „web“ pretraživače poslednje generacije na MS Windows, Linux OS i Android OS. [1]

5 AŽURIRANJE

Formiranje Katastra saobraćajne signalizacije i opreme grada Beograda predstavlja dugotrajan i kompleksan proces koji vodi Sekretarijat za saobraćaj, u saradnji sa stručnim projektantskim preduzećem „Geoput d.o.o. Beograd“ [8].

Zbog visoke dinamičnosti saobraćajnog okruženja, paralelno sa izradom baze podataka, neminovno je identifikovati i implementirati promene nastale na putnoj mreži.

Kako bi se obezbedila maksimalna ažurnost i tačnost podataka, uspostavljen je kontinuiran sistem ažuriranja zasnovan na rešenjima i nalogima inženjera Sekretarijata za saobraćaj i JP „Putevi Beograda“.

Ovaj proces se oslanja na definisani proceduralni protok dokumenata između svih učesnika u sistemu – uključujući nadzorni organ i JKP „Beograd put“ kao neposrednog izvođača terenskih radova. Ažuriranje se sprovodi svakodnevno, prateći svaku promenu faktičkog stanja na terenu radi održavanja pouzdanog i funkcionalnog katastra.

U tom sistemu, namenska WebGIS aplikacija ima ulogu elektronskog dnevnika promena. Ona kroz sistem kodiranja bojom omogućava vizuelno praćenje statusa naloga od same inicijacije do finalne verifikacije. Ceo radni tok – koji obuhvata prostorno mapiranje (crtanje) naloga, prilaganje prateće dokumentacije, nadzor i unos datuma realizacije – obezbeđuje efikasnu kontrolu kvaliteta i permanentno usklađivanje digitalne evidencije sa stvarnim stanjem na saobraćajnoj mreži.

6 BUDUĆI KORACI U RAZVOJU KSS I SKALIRANJE NA MANJE LOKALNE SAMOUPRAVE

Nakon uspešno realizovanih šest faza snimanja i uspostavljanja stabilnog sistema za svakodnevno ažuriranje baze podataka u Beogradu, dalji razvoj KSS u Beogradu trebalo bi se kretati prema transformaciji baze sa statističke evidencije i korektivnog delovanja na sistem planiranog preventivnog održavanja korišćenjem veštačke inteligencije.

Prilagođavanje ovog modela za implementaciju u manjim lokalnim samoupravama moguća je njegova primena i širom Republike Srbije.

6.1 Napredna analitika podataka i integracija AI

Do sada su se analize radile sporadično, uglavnom u svrhe tekućeg održavanja. Uvođenjem AI i automatizovane analize nad postojećim oblakom tačaka, sfernim fotografijama i atributima, KSS postaje proaktivan alat.

- Preventivno održavanje signalizacije: AI algoritmi mogu analizirati podatke o izmerenoj retrorefleksiji znakova i dopunskih tabli kroz vreme. Na osnovu tipa materijala, starosti i stepena degradacije, AI predviđa kada će znak pasti ispod zakonskog minimuma i automatski generiše nalog za zamenu pre nego što postane nebezbedan.
- Automatizovana detekcija oštećenja (Computer Vision): Korišćenjem dubokog učenja (Deep Learning) na sfernim fotografijama i oblaku tačaka, AI može automatski prepoznati fizička oštećenja (grafiti na znakovima, iskrivljeni stubovi, izbledele oznake na putu). Sistem automatski kreira nalog sa geo-lokacijom u WebGIS aplikaciji.
- Analiza prostorne usklađenosti i bezbednosti: AI može upoređivati bazu podataka o signalizaciji sa bazom saobraćajnih nezgoda. Algoritmi mogu prepoznati crne tačke gde nedostaje specifična oprema (npr. prepreke za usporavanje saobraćaja, dodatno osvetljenje pešačkih prelaza) i predložiti mere.
- Optimizacija i provera zakonitosti (Digital Twin): Softverska verifikacija postavljenih znakova u odnosu na zakonsku regulativu (npr. detekcija kontradiktornih znakova na istom stubu ili prekrivenost znaka krošnjom drveta analizom oblaka tačaka).

6.2 Smernice za implementaciju na nivou manjih lokalnih samouprava

Model koji je razvio Beograd predstavlja odličnu praksu, ali je previše kompleksan i skup za manje opštine. Zato se predlaže modularni i skalabilni pristup.

- Smanjenje obima i simplifikacija baze (Light KSS): Manje samouprave nemaju potrebu za 70 tabela i praćenjem elemenata poput rundela zelenila ili slivnika. Bazu treba redukovati na ključne celine: ulična mreža (deonice/čvorovi), saobraćajne znakove, oznake na putu i opremu puta. Broj atributa po tabeli treba smanjiti sa prosečnih 30 na 10 ključnih.
- Faze snimanja prilagođene budžetu: Umesto skupih Mobile Mapping sistema visoke tačnosti odjednom, manje opštine mogu primeniti hibridni pristup:
 - o Faza 1: Snimanje kritičnih i urbanih zona (centar opštine, zone škola) komercijalnim 360° kamerama male vrednosti.
 - o Faza 2: Postepeno uvođenje LiDAR tehnologije kroz regionalna partnerstva.
- Međuopštinska saradnja i deljeni resursi (SaaS model): Umesto da svaka mala opština kupuje sopstveni softver i serversku infrastrukturu, predlaže se formiranje regionalnih GIS centara ili korišćenje jedinstvene državne platforme. Više opština deli troškove licenci i održavanja WebGIS aplikacije, dok svaka upravlja isključivo svojim podacima.
- „Outsourcing“ ažuriranja kroz ugovore o održavanju: Male samouprave često nemaju GIS inženjere. Rešenje je da se kroz tenderske procedure za redovno održavanje puteva (sa lokalnim javno-komunalnim preduzećima ili privatnim izvođačima) unese obaveza da izvođač nakon izvedenih radova unese promenu direktno u aplikaciju ili dostavi podatke u standardizovanom obliku.
- Finansiranje preko fondova: Predložiti da se inicijalno snimanje manjih opština finansira kroz namenska sredstva za unapređenje bezbednosti saobraćaja ili kroz nacionalne i EU fondove za digitalizaciju.

7 ZAKLJUČAK

Katastar saobraćajne signalizacije i opreme Grada Beograda (KSS) predstavlja uspešan primer transformacije tradicionalne evidencije u savremeni digitalni GIS sistem. Kroz realizovanih šest faza snimanja, formirana je detaljna i prostorno precizna baza podataka koja direktno unapređuje bezbednost saobraćaja, omogućava efikasnije upravljanje putnom infrastrukturom i obezbeđuje svakodnevno ažuriranje podataka u realnom vremenu. Budući razvoj sistema usmeren je ka implementaciji veštačke inteligencije (AI) i računarskog vida, čime će se omogućiti prelazak sa korektivnog na proaktivno i preventivno održavanje. Pored toga, ponuđene su jasne smernice za primenu u manjim lokalnim samoupravama širom Srbije, kroz prilagođeni, modularni pristup i optimizaciju troškova.

ZAHVALNICA

Posebnu zahvalnost dugujem našem dragom kolegi i uvaženom saobraćajnom inženjeru Dušanu Gajiću, koji je preminuo ubrzo nakon realizacije prve faze Katastra saobraćajne signalizacije. Kao jedan od vodećih stručnjaka u prvobitnoj pripremi i pokretanju ovog projekta, Dušan je svojim inženjerskim znanjem, vizijom i profesionalnim

entuzijazmom postavio temelje celokupnog sistema. Ovaj rad posvećujem sećanju na njega i njegov neizbrisiv doprinos našoj struci i razvoju saobraćajne infrastrukture Beograda

LITERATURA

- [1] Veb-portal aplikacije Katastra saobraćajne signalizacije Beograda: <https://kssbg.geo.rs>
- [2] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima („Sl. glasnik RS“, br. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - odluka US, 55/2014, 96/2015 - dr. zakon, 9/2016 - odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - dr. zakon, 87/2018, 23/2019, 128/2020 - dr. zakon i 76/23)
- [3] Zakon o putevima („Sl. glasnik RS“, br. 41/2018, 95/2018 i 92/2023 - dr. zakon)
- [4] Zakon o planiranju i izgradnji („Sl. glasnik RS“, br. 72/2009, 81/2009 - ispr., 64/2010 - odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - odluka US, 50/2013 – odluka US, 98/2013 - odluka US, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019 - dr. zakon i 9/2020, 9/2020, 52/2021 i 62/2023)
- [5] Statut grada Beograda („Sl. list grada Beograda“, br. 39/2008, 6/2010 i 23/2013, "Sl. glasnik RS", br. 7/2016 - odluka US i "Sl. list grada Beograda", br. 60/2019)
- [6] Odluka o gradskoj upravi grada Beograda ("Službeni list grada Beograda", br. 126/2016, 2/2017, 36/2017, 92/2018, 103/2018, 109/2018, 119/2018, 26/2019, 60/2019, 85/2019, 101/2019, 71/2021, 94/2021, 111/2021, 83/2022 i 96/2022)
- [7] Odluka o ulicama, lokalnim i nekatégorisanim putevima („Sl. list grada Beograda“, br. 3/2001, 15/2005, 29/2007 - dr. odluka i 17/2020)
- [8] Sekretarijat za saobraćaj grada Beograda - Tehnička dokumentacija i baze podataka o realizovanim fazama (I-VI) izrade Katastra saobraćajne signalizacije i opreme ulične mreže grada Beograda.

SUMMARY

Belgrade Traffic Signage and Equipment Cadastre

Abstract: Given the critical role of traffic signage as an essential component within the closed driver-vehicle-environment cybernetic system, maintaining an up-to-date and spatially precise database is imperative. Such a system facilitates efficient road infrastructure management, enhances daily operational decision-making, enables the evaluation of alternative solutions, and ensures rapid response times. A traffic signage cadastre built upon GIS technology serves as the ideal tool for these objectives.

The development of the Traffic Signage Cadastre (KSS) has established an active spatial database that accurately reflects the current state of traffic signage and equipment across Belgrade's street network. This system precisely inventories municipal assets and ensures higher-quality infrastructure maintenance.

As an integral component of the unified registry of traffic-technical measures within Belgrade's digital traffic map, the KSS provides the foundational data for traffic management and dynamic road mapping.

By 2026, the Secretariat for Transport completed six phases of the KSS development, mapping a total of 4,320 kilometers of Belgrade's street network, with the subsequent data collection phase currently in preparation.

All attributes regarding the existing road infrastructure, traffic signage, equipment, and related objects are stored within a georeferenced database consisting of 70 interconnected tables. Alongside the digital twin representation of the city, the platform features a realistic display utilizing point clouds and spherical photographs (Street View), providing a comprehensive visualization of the road network and advanced digital map functionalities.

The KSS web application is publicly accessible with limited functionalities at <https://kssbg.geo.rs>.

Keywords: cadastre, traffic signage, traffic equipment, Belgrade.

Plenarna sesija 3

EFIKASNOST PUTNOG SAOBRAĆAJA

Генерални и идејни пројекат вишетрачног пута „Вожд Карађорђе“ – методолошки и стручни изазови³

Владан Тубић, Саобраћајни факултет, tubicvladann@gmail.com

Сања Фриц, Грађевински факултет, fricsanja@gmail.com

Небојша Видић, Хидропројект – Саобраћај, Београд, nebojsa.vidic@hps.rs

Дејан Гавран, Грађевински факултет, gavran@eunet.rs

Маријо Видас, Саобраћајни факултет, m.vidas@sf.bg.ac.rs

Немања Степановић, Саобраћајни факултет, n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

Филип Трпчевски, Грађевински факултет, ftprcevski@grf.bg.ac.rs

Резиме: Према Пројектном задатку за Генерални пројекат основни коридор пута „Вожд Карађорђе“ протеже се по правцу запад – исток од везе са А2 преко Лазареваца, Аранђеловца, Орашца, везе са А1, Деспотовца до Бора. По правцу север – југ коридор се простире од везе са А1 (М.Пожаревац) преко Младеноваца, Орашца до Крагујевца. Коридор је у свом почетном делу од везе са А2 до Орашца и од Свилајнца до Бора планиран као вишетрачни пут (ВП) са $V_r = 100 \text{ km/h}$. Од Орашца до Свилајнца планиран је аутопут са $V_r = 130 \text{ km/h}$. Од везе са А1 (М.Пожаревац) преко Младеноваца до Аранђеловца предвиђен је ВП са $V_r = 100 \text{ km/h}$, а за наставак коридора до Крагујевца и везе С.Паланке са коридором планиран је двотрачни пут са $V_r = 80 \text{ km/h}$. За коридор пута „Вожд Карађорђе“ у Генералном пројекту разматрана су варијантна решења, а вишекритеријумским вредновањем изабрана су најповољнија. Мултидисциплинарни тим пројектаната је од самог почетка био свестан неодрживости иницијалних планерских претпоставки, али је са максималном креативношћу поступио према Пројектном задатку и у закључцима свих спроведених анализа навео сва просторна ограничења, неадекватне саобраћајне захтеве и нерационалност са друштвено економског аспекта. На нивоу Идејног пројекта према Просторном плану и Локацијским условима разрађивана је траса од везе са А2 преко Лазареваца, Аранђеловца, Орашца до везе са А1 (Марковац) и од М.Пожареваца до Орашца у профилу ВП са $V_r = 100 \text{ km/h}$. Резултати оптимизирања трасе, сагледавања просторних, еколошких и аспеката саобраћајно – економске рационалности показали су да треба приступити реализацији ВП уз препоруке о даљој рационализацији трошкова и померању иницијалног периода грађења различито по 3 дефинисана Сектора. Доминантност кретања по правцу север – југ и неопходност квалитетне путне везе по правцу запад - исток у Шумадији довела је до низа методолошких и стручних изазова који су са резултатима кључних анализа приказани у овом раду.

Кључне речи: Генерални пројекат, Идејни пројекат, вишетрачни пут

³ CC BY-NC licenca

1 УВОД

Изградња путева започиње много пре њихове физичке реализације кроз системски низ уређених поступака планирања и пројектовања. Процес пројектовања путева води се осмишљеним поступцима заснованим на максималном фонду информација о природним и стеченим ограничењима, постојећој просторној и физичкој структури пута, саобраћају (постојећем и прогнозираном) и другим релевантним параметрима, како би се донела одлука о једном од нивоа интервенција на путној мрежи.

Основни принципи и ставови су :

- рационално и документовано одлучивање у свим фазама планирања /пројектовања засновано на поређењу и вредновању нумеричких показатеља варијантних решења мора заменити интуитивно одлучивање,
- одлагање кључних одлука за следећу фазу пројектовања у супротности је са основним законитостима процеса; свака фаза пројектовања има своје задатке, свој ниво и ширину разматрања,
- полазне поставке сваке фазе, које су резултат закључака претходне, контролишу се и кроз повратну спрегу; мање модификације полазних поставки су потребне и неопходне.

Наша стручна пракса је оптерећена неспоразумима на релацији план – пројекат.

Као последица јавља се низ проблема који резултују доношењу погрешних одлука које није могуће лако исправити, нити ублажити њихове дуготрајне негативне последице. Суштински је проблем да се код нас још увек примењује низ поступака у коме се према прогнозираној потражњи заснованој на циљевима (тј. плану) димензионише понуда (тј. пројекат). У таквом поступку веома је мала могућност да резултати пројектовања утичу на промену циљева. Генерално, неразјашњена је међусобна условљеност процеса планирања и пројектовања, односно појмови планирање и пројектовање се не схватају као делови јединственог процеса.

Према Пројектном задатку за Генерални пројекат основни коридор пута „Вожд Карађорђе“ протеже се по правцу запад – исток од везе са А2 преко Лазареваца, Аранђеловца, Орашца, везе са А1, Деспотовца до Бора. По правцу север – југ коридор се простире од везе са А1 (М.Пожаревац) преко Младеноваца, Орашца до Крагујевца. Коридор је у свом почетном делу од везе са А2 до Орашца и од Свилајнца до Бора вишетрачни пут (ВП) са $V_r = 100 \text{ km/h}$. Без реално неопходних саобраћајних захтева од Орашца до Свилајнца планиран је аутопут са $V_r = 130 \text{ km/h}$. Од везе са А1 (М.Пожаревац) преко Младеноваца до Аранђеловца предвиђен је ВП са $V_r = 100 \text{ km/h}$, а за наставак коридора до Крагујевца са много већим саобраћајним захтевима од осталих сектора планиран је двотрачни пут са $V_r = 80 \text{ km/h}$. Веза Смедеревске Паланке са коридором планирана је као двотрачни пут са $V_r = 80 \text{ km/h}$. Ауторски тим, односно мултидисциплинарни тим пројектаната суочио се са озбиљним просторним проблемима за креирање тако постављених коридора на нивоу Генералног пројекта. Резултати оптимизирања трасе, сагледавања просторних, еколошких и аспеката саобраћајно – економске рационалности показали су да треба приступити реализацији ВП уз препоруке о даљој

рационализацији трошкова и померању иницијалног периода грађења различито по 3 дефинисана Сектора.

2 ГЕНЕРАЛНИ ПРОЈЕКАТ ДРЖАВНОГ ПУТА I РЕДА „ВОЖД КАРАЂОРЂЕ“

Важећим прописима и захтевима Пројектног задатка, усвојена рачунска брзина на деоницама вишетрачних путева износи 100 km/h, на деоницама аутопутева износи 130 km/h, док је на деоницама двотрачних путева усвојена рачунска брзина од 80 km/h. Гранични елементи подразумевају прорачун минималних и максималних вредности за ситуациони план, подужни и попречни профил у функцији усвојених рачунских брзина. Везе за варијантна решења (Варијанте 1 и 2) са постојећим путевима и новопроектованим двотрачним путевима оствариће се преко денивелисаних раскрсница са пуним програмом веза, различитих типова (ромб, полу-детелина, детелина, труба итд.). На појединим местима дуж трасе, пројектоване су и површинске кружне раскрснице, као веза са мрежом нижег ранга.

Пошто је Генерални пројекат рађен током 2021.године за базну годину, као релевантну за прогнозу саобраћајних токова усвојена је 2019. година (узроковано доступношћу јавно публикованих података о бројању саобраћаја и утицају пандемије COVID 19 на карактеристике саобраћајног тока у 2020. години). Иницијални планерски период изградње саобраћајнице је 4 године (2024., 2025., 2026. и 2027. год.), а иницијални период експлоатације је од 2028. до 2047. год.

За потребе расподеле и прогнозе саобраћајних токова на будућим вишетрачним, аутопутским и двотрачним деоницама I реда „Вожд Карађорђе“ креиран је транспортни модел у софтверу VISUM чији се просторни обухват односио на целу утицајну зону планиране мреже. У Саобраћајној студији моделски је извршена расподела саобраћајних токова за све разматране мреже и варијанте.

Табела 1 Прогнозирани ПГДС на деоницама пројектованих путева за усвојену варијанту

ДЕОНИЦЕ АУТОПУТА							
Ознака деонице/ деоница	(АП) 4 Орашац - Белосавци	(АП) 5 Белосавци - Загорица	(АП) 6 Загорица – С. Паланка	(АП) 7 С. Паланка - Вишевац	(АП) 8 Вишевац - Рача	(АП) 9 Рача - Марковац	
ПГДС	2028.г.	4794	3569	2791	2791	1490	1008
(воз/дан)	2047.г.	10756	8126	5422	5422	3014	1971
ДЕОНИЦЕ ВИШЕТРАЧНОГ ПУТА							
Ознака деонице/ деоница	(ВП) 1 Дудовица - Трбушница	(ВП) 2 Трбушница - Партизани	(ВП) 3 Партизани - Орашац	(ВП) 10. Марковац - Свилајнац	(ВП) 11. Свилајнац - Медвеђа	(ВП) 12 Медвеђа - Деспотовац	
ПГДС	2028.г.	2286	3011	2526	2827	1783	2232
(воз/дан)	2047.г.	4777	5715	9904	6567	4439	5363
Ознака деонице/ деоница	(ВП) 13 Деспотовац - Стењевац	(ВП) 14 Стењевац - Бор	ВП (2) 1 М. Пожаревац - Сопот	ВП (2) 2 Сопот - Младеновац	ВП (2) 3 Младеновац - Орашац	ВП (2) 4 Орашац - Аранђеловац	
ПГДС	2028.г.	999	693	11306	11306	8259	3120
(воз/дан)	2047.г.	2432	2038	20617	20617	17070	4903
ДЕОНИЦЕ ДВОТРАЧНОГ ПУТА							
Ознака деонице/ деоница	ДП (3) 1 Загорица - Топола	ДП(3) 2 Топола - Трнава	ДП(3) 3 М. Трнава - Крагујевац	ДП (1) 1 С. Паланка - Нови АП	ДП (1) 3 Стари пут - Трнава	ДП (2) 1 Вучић - Крагујевац	
ПГДС	2028.г.	4122	5007	5007	1275	1199	2778
(воз/дан)	2047.г.	8615	10868	10868	1872	2913	5754

У табели приказани су излазни резултати из модела за очекиване захтеве у I и XX години експлоатације нове мреже за усвојено варијантно решење по типовима попречног профила, односно типа пута (АП, ВП и ДП). Не уочава се никаква корелативна зависност између предложеног попречног профила и ПГДС-а.

На потезу узводно уз реку Клочаницу улази се и у подручје ограничења наметнутих и од Министарства за заштиту животне средине, јер се на тој територији, са постојећим војним ограничењима, преклапају и ограничења која проистичу из ширења Националног парка „Бељаница“. Тако је, што због елементарних топографских органичења, што због постојања Националног парка „Бељаница“ и тенденције ка његовом даљем ширењу, што због планова развоја војног полигона, сама реализација коридора „Вожд Карађорђе“ на потезу од Стењеваца до Бора, врло упитна, како би била у складу са смерницама из Пројектног задатка. Узимајући у обзир разматране варијанте на нивоу Генералног пројекта, за потребе вредновања варијантних решења, као варијанта коју има смисла укључити у процес вредновања на потезу целог коридора, предлаже се укључење тзв. гребенске варијанте, с обзиром да је она неприхватљива са аспекта ширења војног полигона „Пасуљанске ливаде“, али се са аспекта ширења Националног парка „Бељаница“, може сматрати прихватљивом. Друге две варијанте – тзв. Ресавска и долином Клочанице су неприхватљиве и са аспекта ширења војног полигона и са аспекта ширења Националног парка „Бељаница“, односно имају више непомирљивих просторних ограничења.

Комплетна пројектована мрежа је за потребе израде функционалних и економских анализа (Претходне студије оправданости) подељена на 6 функционалних целина (мреже А до Ф), а функционално и економски тестиране су две варијанте коридора: **1 - Северна** (северно од Аранђеловца) и **2 – Јужна** (траса ближа Аранђеловцу) за сваку мрежу посебно, осим на мрежи F где је могућа само једна варијанта. Подела планиране мреже је следећа:

Мрежа А: вишестрачне и аутопутске деонице на траси: аутопут А2 - Аранђеловац - Топола - Рача - Марковац (аутопут А1) - Свилајанац - Деспотовац - Стењевац, (Варијанта 1 - Северна дужине 130,69 km и Варијанта 2 - Јужна дужине 126,22 km);

Мрежа Б: вишестрачне деонице на траси Мали Пожаревац - Младеновац - Аранђеловац (Варијанта 1 - Северна дужине 36,70 km и Варијанта 2 - Јужна дужине 36,38 km);

Мрежа Ц: вишестрачне деонице на траси Стењевац - Бор (дужина 65,46 km);

Мрежа Д: двотрачне деонице на траси нови пут (Загорица) - Топола + улаз у Тополу - Трнава - Церовац - Крагујевац (дужина 39,94 km);

Мрежа Е: двотрачне деонице на траси Смедеревска Паланка - Клока - Трнава (дужина 21,57 km);

Мрежа Ф: двотрачне деонице на траси Вучић - Крагујевац (дужина 22,71 km).

Претходно наведена подела настала је као последица да су пројектним решењем на нивоу овог Генералног пројекта дефинисана два варијантна коридора у мрежи А, и то на *потезу од аутопута А2 до Вишевца*. На мрежи В пројектована су 2 варијантна решења на почетку коридора (брдска и тунелска варијанта). На свим осталим мрежама разматране су две варијанте због разлике у саобраћајном оптерећењу које настаје због различитих контактних чворова, али је физички присутна једна траса у обе варијанте. Ово се односи и на мрежу Ц, где је због просторно - планских докумената и ограничења Националног парка „Бељаница“ и

војног полигона „Пасуљанске Ливаде“, могуће једино условно разматрање искључиво тзв. „гребенске“ трасе.

Рекапитулација потребних улагања у изградњу свих деоница по мрежама А-Ф приказана је у следећој табели.

Табела 2. Трошкови реализације пројекта

Мрежа	Варијанта	Економска вредност (€)	Финансијска вредност (€)	Економска вредност (€/km)	Финансијска вредност (€/km)
Мрежа А	Вар 1.	883.738.990	1.104.673.738	6.762.101	8.452.626
	Вар. 2	1.070.893.753	1.338.617.191	8.484.343	10.605.429
Мрежа Б	Вар 1.	224.853.488	281.066.859	6.126.798	7.658.498
	Вар. 2	247.109.708	308.887.135	6.792.460	8.490.575
Мрежа Ц	Вар. 1	877.184.369	1.096.480.461	13.400.311	16.750.389
Мрежа Д	Вар. 1	70.477.645	88.097.056	1.764.588	2.205.735
Мрежа Е	Вар. 1	42.918.971	53.648.714	1.989.753	2.487.191
Мрежа Ф	Вар 0.	40.328.803	50.411.004	1.775.817	2.219.771

Разматрана су два варијантна решења планираног коридора „Вожд Карађорђе“ – варијанта 1 (Северна) и варијанта 2 (Јужна). Релативно рангирање варијанти спроведено је за 2 варијантна коридора (варијанте Север и Југ) мреже А: *коридор од аутопута А2 до Трбушнице и од Партизана до Вишевца*. Примењена је „TOPSIS“ метода вишекритеријумског вредновања са 18 критеријума. Одређивање тежина критеријума спроведено је по методи директног одређивања тежина, на основу резултата добијених електронском анкетом 52 експерата грађевинске, саобраћајне и архитектонске струке. На основу Еуклидске удаљености варијанти од „идеалног“ и „анти-идеалног“ решења прорачуната је релативна блискост варијанти и спроведено рангирање које је показало следеће резултате: код коридора од аутопута А2 (Лазареваца) до Трбушнице боља је варијанта Југ (1.1), чија релативна блискост износи 0,7630, док је код коридора од Партизана до Вишевца боља варијанта Север (3.1), чија релативна блискост износи 0,7887. Како би се свеобухватно испитала конзистентност добијених резултата рангирања варијанти спроведена је компаративна анализа „TOPSIS“ методе са четири веома утицајне методе вишекритеријумског рангирања: „MABAC“, „WASPAS“, „CODAS“ и „CoCoSo“. Резултати компаративне анализе су потврдили да свих пет метода идентификују Југ (1.1) као најбољу варијанту за Коридор од аутопута А2 (Лазареваца) до Трбушнице и Север (3.1) као најбољу варијанту за Коридор од Партизана до Вишевца.

Добијени резултати економског вредновања сагласни су са резултатима вишекритеријумског вредновања по методи TOPSIS, на основу чега је **усвојена Варијанта 1 (СЕВЕР – 3.1 +1.1)**, за коју је спроведено економско вредновање које је узело у обзир користи од нормалног и индикованог саобраћаја.

Спроведеним економским вредновањем **усвојене варијанте** добијени су следећи резултати, односно следеће вредности критеријума по дефинисаним мрежама:

Мрежа А: аутопут А2 (Дудовица) - Трбушница - Партизани - Аранђеловац (север) - Топола - Клока - Рача - Марковац - Свилајнац - Деспотовац - Стењевац

ЕИСР = **4,01%** < ОСК=5% и ЕНСВ= -118.938.585 ЕУР (ЕНСВ < 0);

Мрежа Б: Мали Пожаревац - Сопот (брдска) - Младеновац - Марковац - Орашац - Аранђеловац

ЕИСР = **15,00%** > ОСК=5% и ЕНСВ= 451.268.564 ЕУР (ЕНСВ > 0);

Мрежа Ц: Стењевац - Бор (гребенска)

ЕИСР = **1,66%** < ОСК=5% и ЕНСВ= -373.553.110 ЕУР (ЕНСВ < 0);

Мрежа Д: нови пут (Загорица) - Топола + улаз у Тополу - Трнава - Церовац - Крагујевац

ЕИСР = **12,65%** > ОСК=5% и ЕНСВ= 96.513.659 ЕУР (ЕНСВ > 0);

Мрежа Е: Смедеревска Паланка - Клока - Трнава

ЕИСР = **2,23%** < ОСК=5% и ЕНСВ= -14.818.214 ЕУР (ЕНСВ < 0);

Мрежа Ф: Вучић - Крагујевац

ЕИСР = **6,32%** > ОСК=5% и ЕНСВ= 9.809.026 ЕУР (ЕНСВ > 0).



Слика 1. Мрежа са инвестицијом – усвојена Варијанта 1 (Северна)

Резултати функционалног и економског вредновања Претходне студије оправданости овог Генералног пројекта показали су да:

- треба приступити даљим активностима на изради пројектне документације на нивоу Идејног пројекта за **Мреже Б, Д и Ф** изабране варијанте за дефинисану иницијалну динамику и Пројектним задатком дефинисани попречни профил.
- за **Мрежу Д** (нови пут (Загорица) - Топола + улаз у Тополу - Трнава - Церовац - Крагујевац) уколико дође до оптимистичнијег сценарија пораста саобраћајних токова, с обзиром на добијене резултате анализе Нивоа Услуге, са помереном иницијалном динамиком, потребно је додатним анализама испитати комплетирање правца „север - југ“ профилем брзе саобраћајнице.

Ова анализа излази из оквира Пројектног задатка и захтевала би редефинисање ширег утицајног подручја пута Мали Пожаревац – Крагујевац.

- за **Мрежу А** – основни коридор (А2 (Дудовица) - Трбушница - Партизани - Аранђеловац (север) - Топола (север) - Клока - Рача - Марковац - Свилајнац - Деспотовац - Стењевац) **треба применити све препоруке по питању рационализације пројектног решења (профил брзе саобраћајнице на целом потезу) уз померање иницијалне динамике за 2-3 године.**
- За **Мрежу С** - наставак основног коридора (Стењевац - Бор гребенска) за коју је добијена негативна економска оправданост, потребно је на нивоу Идејног пројекта размотрити **померени период градње и експлоатације (од 2035. године) и етапну градњу у функцији пораста саобраћајних захтева.**
- За **мрежу Е** (двотрачни пут Смедеревска Паланка - Клока - Трнава), за коју је добијена негативна економска оправданост, а с обзиром на низак ниво саобраћајних захтева, препорука је реконструкција постојећег пута са дефинисањем прикључних веза.

3 ИДЕЈНИ ПРОЈЕКАТ ДРЖАВНОГ ПУТА I РЕДА „ВОЖД КАРАЂОРЂЕ“ (СЕКТОРИ 1,2 И 3)

Препоручено варијантно решење трасе из Генералног пројекта (Варијанта 1 - Север) је на нивоу Идејног пројекта (2025) додатно разрађено у складу са Пројектним задатком, који је узео у обзир закључке и препоруке из Генералног пројекта у погледу рационализације пројектног решења - промена типа пута из аутопута у вишетрачни пут, одустајање од дела коридора „Стењевац-Бор“ и изградње новог двотрачног пута Смедеревска Паланка - Трнава.

На нивоу Идејног пројекта (ИП) вишетрачна саобраћајница I реда „Вожд Карађорђе“ обухвата деонице са почетком на аутопуту А2 (будућа петља „Чибутковица“), и простире се даље преко Аранђеловца и Тополе до аутопута А1 (путни правац Е-75) у близини петље „Марковац“. Наведену попречну везу у правцу „запад-исток“ допуњује и веза по правцу „север-југ“, која омогућава спајање аутопута А1 (петља „Мали Пожаревац“) са пројектованим путем и градским насељем Аранђеловац. Наведене саобраћајнице употпуњују и пројектовани двотрачни путеви који би обезбедили бољу повезаност новог пута са постојећим путним правцима и адекватан приступ насељима.

На нивоу ИП пројектно решење пута „Вожд Карађорђе“ на основу Пројектног задатка и Локацијских услова креирано је по 3 сектора и то:

- **Сектор 1:** од петље Марковац до петље Орашац (од km 0+200 - km 43+000),
- **Сектор 2:** од петље Орашац до петље Чибутковица (од km 43+000 до km 88+821.45),
- **Сектор 3:** од петље Мали Пожаревац до чвора Аранђеловац (од km 0+000 - km 36+884.26).

На наредној слици приказана је траса планираног вишетрачног пута „Вожд Карађорђе“.

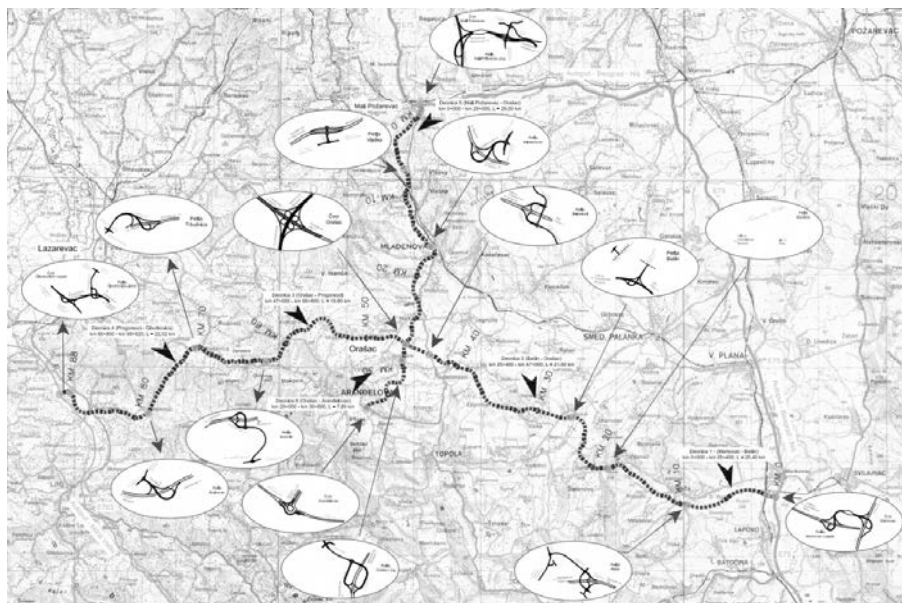
Државни пут „Вожд Карађорђе“ на потезима од петље Чибутковица до петље Марковац и Мали Пожаревац – Аранђеловац, на свим поддеоницама има рачунску

брзину од 100km/h. За бочни правац пројектује се траса пута за рачунску брзину од 80 km/h, а за ниже везне правце пројектује траса за рачунску брзину од 60 km/h.

Приликом израде ИП примењени су следећи основни технички елементи на правцима вишестрачног пута: ширина возне траке 4x3,50 m; ширина ивичне траке 4x0,50 m; ширина разделне траке минимум 1x4 m; ширина банке минимума 2x1,25 m; ширина уливно/изливне траке 3,50 m и ширина додатне траке на нагибима 3,50 m.

У односу на Генерални пројекат, траса основног коридора је у ИП претрпела одређене измене, које су пре свега настале као резултат захтева имаоца јавних овлашћења и надлежних институција кроз добијене Локацијске услове. Такође, местимична микропомерања и померања трасе, како у ситуационом плану тако и у подужном профилу, последица су и полагања трасе на геолошке и геодетске подлоге прилагођене нивоу ИП. Одређене измене су настале и у решењима денивелисаних раскрсница, како на основу исходованих Локацијских услова и планова локалних самоуправа, тако и на основу детаљнијег сагледавања постојеће путне мреже, у складу са методологијом израде ИП.

Расподела и прогноза саобраћајних токова спроведени су формирањем новог Транспортног модела. Наиме, због значајне промене обима планиране мреже у односу на Генерални пројекат и промене социо-економских индикатора конципиран је нови модел у софтверу VISUM кроз следеће активности: ажурирани су подаци о бројању саобраћаја на мрежи државних путева на вредности из 2023.г., детаљније је разрађен зонски систем у оквиру утицајног подручја и реализована су нова истраживања саобраћаја.



Слика 2. Траса планираног вишестрачног пута „Вожд Карађорђе“

Резултати прогнозираног саобраћајног оптерећења на деоницама пројектованог пута у првој и двадесетој години експлоатације приказани су у табели 3.

У циљу отклањања врло неповољних услова саобраћаја на постојећим деоницама у ужој утицајној зони разматраног вишетрачног пута, који се испољавају кроз појаву уских грла са аспекта практичног капацитета и *Нивоа Услуге*, бољег повезивања простора унутар гравитационог подручја (централна Србија), омогућавања бржег и ефикаснијег проласка транзитног саобраћаја, смањења времена путовања као последице повећања оперативних брзина возила, смањења оперативних трошкова возила, смањења броја саобраћајних незгода и смањења негативних еколошких утицаја саобраћаја на околину, постоји реална функционална потреба за реализацијом пројектоване вишетрачне саобраћајнице.

Табела 3. Прогнозирани ПГДС на вишетрачним и двотрачним деоницама пројектованог пута „Вожд Карађорђе“

ДЕОНИЦЕ ВИШЕТРАЧНОГ ПУТА							
Ознака деонице/ деоница		(ВП) 1 Марковац запад - Рача	(ВП) 2 Рача - Вишевац	(ВП) 3 Вишевац - Башин	(ВП) 4 Башин – Белосавци	(ВП) 5 Белосавци - Орашац	(ВП) 6 Орашац - Буковик
ПГДС (воз/дан)	2028.г.	1424	2923	1754	1935	2919	1914
	2047.г.	2796	7599	5307	5681	7918	6284
ДЕОНИЦЕ ВИШЕТРАЧНОГ ПУТА							
Ознака деонице/ деоница		(ВП) 7 Буковик - Трбушница	(ВП) 8 Трбушница - Брајковац	(ВП) 9 Брајковц - Чибутковица исток	(ВП) 10. Чибутковица исток – Чиб. запад	(ВП) 11. Мали Пожаревац – М.Пожаревац југ	(ВП) 12 Мали Пожаревац југ - Влашка
ПГДС (воз/дан)	2028.г.	5912	3330	3244	4067	17611	10173
	2047.г.	11692	6646	6880	8587	33810	20147
ДЕОНИЦЕ ВИШЕТРАЧНОГ ПУТА					ДЕОНИЦЕ Д П		
Ознака деонице/ деоница		(ВП) 13 Влашка - Младеновац	(ВП) 14 Младеновац - Орашац	(ВП) 15 Орашац – Орашац југ	(ВП) 16 Орашац југ - кружна Аранђеловац	(ДП) 1 Рача – Градац	(ДП) 2 Орашац југ – улаз у Орашац
ПГДС (воз/дан)	2028.г.	13472	7212	4515	4891	4698	915
	2047.г.	26341	15496	7519	7939	11104	1875

Анализа трошкова и користи за сва 3 Сектора урађена је у **првом кораку** за иницијални експлоатациони период од 2028. до 2047.г., са иницијалним периодом грађења од 3 године (2025, 2026 и 2027.г.). У cost benefit анализи узет је стандардни период експлоатације од 20 година. Економска дисконтна стопа износи 6%. Инвестициона вредност по секторима приказана је у наредној табели.

Табела 4. Трошкови реализације пројекта

Сектор	Економска вредност (€)	Финансијска вредност (€)	Економска вредност (€/km)	Финансијска вредност (€/km)
Сектор 1	375.304.525	417.005.027	8.768.797	9,743,108
Сектор 2	529.098.352	622.468.649	12.226.190	13.584.656
Сектор 3	367.195.834	431.995.099	10.540.965	11.712.183

На основу ових и осталих параметара у cost benefit анализи (СВА) за иницијални период грађења и експлоатације добијени су следећи резултати :

- **Сектор 1, ЕИСП = 3,61 % < ОСК = 6% и ЕНСВ = -98.214.901 ЕУР (ЕНСВ < 0)**
Није испуњен услов апсолутне економске оправданости.
- **Сектор 2, ЕИСП = 5,67 % < ОСК = 6% и ЕНСВ = -24.531.907 ЕУР (ЕНСВ < 0)**
Није испуњен услов апсолутне економске оправданости.
- **Сектор 3, ЕИСП = 7,34 % > ОСК = 6% и ЕНСВ = 60.190.107 ЕУР (ЕНСВ > 0)**
Испуњен је услов апсолутне економске оправданости.

Резултати функционалног и економског вредновања показују да треба приступити реализацији пројекта вишетрачног пута I реда „Вожд Карађорђе“, али уз препоруку о рационализацији трошкова грађења и померању иницијалног периода грађења и експлоатације на Секторима 1 и 2. Претходни став има аналитичку подршку и у анализама економске оправданости спроведене на нивоу комплетног инфраструктурног коридора „Вожд Карађорђе“ (Сектор 3, 2 и 1). За померени и продужени период грађења комплетног коридора од 2026. до 2029. године и период експлоатације 2030. до 2049. године добијена је ЕИСП = 6,04% (ЕИСП > ОЦК). Добијена вредност ЕИСП од 6,04% јасно указује да Сектори 3 и 2 имају задовољавајућу економску оправданост, а да за Сектор 1 пре свега због ниског нивоа очекиваних саобраћајних захтева треба још померити и редефинисати иницијални период грађења и експлоатације.

Додатне анализе ЕИСП на нивоу целог коридора „Вожд Карађорђе“ и појединачно по Секторима дале су аналитички основ за дефинисање приоритета градње по секторима. Аутори предлажу следеће приоритете :

- Сектор 3** ЕИСП = **7,90 %** > ОСК = 6% (грађење 3 године од 2026. до 2028.г., I година експлоатације од **2029.**)
- Сектор 2** ЕИСП = **6,20 %** > ОСК = 6% (грађење 3 године од 2026. до 2028.г., I година експлоатације од **2029.**)
- Сектор 1** ЕИСП = **5,92 %** > ОСК = 6% (грађење 4 године од 2028. до 2031.г., I година експлоатације од **2032.**) - испуњен услов граничне економске оправданости - добијена вредност ЕИСП је блиска вредности ОЦК.

4 ДИСКУСИЈА И ЗАКЉУЧЦИ

Суштински проблем наше стручне праксе је да се још увек примењује низ поступака у коме се према прогнозираној тражњи заснованој на циљевима (тј. плану) димензионише понуда (тј. пројекат). Неспоразуми на релацији план – пројекат у основи настају јер се појмови планирања и пројектовања не схватају као делови јединственог процеса. Прескакање било које фазе планирања/пројектовања у даљим фазама ствара проблеме које је у наредним фазама тешко кориговати. У Србији још увек није урађен и усвојен Генерални план развоја путне мреже, а то је најважнија почетна фаза. Мултидисциплинарни тим пројектаната сусрео се са низом проблема креирајући Генерални и Идејни пројекат државног пута „Вожд Карађорђе“. Промена профила са аутопута на вишетрачни пут за део коридора свакако је рационалније решење у складу са очекиваним саобраћајним захтевима. Такође и концепт дефинисања реалне динамике грађења и приоритета по Секторима у функцији економске рационалности је методолошки изазов који је успешно решен. Због иницијално погрешног првог корака и просторних ограничења

питање Сектора од Орашца до Крагујевца свакако у наредном периоду треба приоритетно решити с обзиром на величину саобраћајних токова.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ГЕНЕРАЛНИ ПРОЈЕКАТ И ПРЕТХОДНА СТУДИЈА ОПРАВДАНОСТИ ДРЖАВНОГ ПУТА I РЕДА „ВОЖД КАРАЂОРЂЕ“, Грађевински факултет, Саобраћајни факултет, Хидропројект – Саобраћај, Београд, 2022.
- [2] Малетин, М., Планирање саобраћаја и простора, Грађевински факултет, Београд, 2004.г.
- [3] ИДЕЈНИ ПРОЈЕКАТ СА СТУДИЈОМ ОПРАВДАНОСТИ И ПРОСТОРНИ ПЛАН ПОСЕБНЕ НАМЕНЕ ИНФРАСТРУКТУРНОГ КОРИДОРА „ВОЖД КАРАЂОРЂЕ“ („ШУМАДИЈСКИ КОРИДОР“) – СЕКТОР 2, ОРАШАЦ – ЧИБУТКОВИЦА, Хидропројект – Саобраћај, Грађевински факултет, Саобраћајни факултет, Београд, 2025.
- [4] ИДЕЈНИ ПРОЈЕКАТ СА СТУДИЈОМ ОПРАВДАНОСТИ И ПРОСТОРНИ ПЛАН ПОСЕБНЕ НАМЕНЕ ИНФРАСТРУКТУРНОГ КОРИДОРА „ВОЖД КАРАЂОРЂЕ“ („ШУМАДИЈСКИ КОРИДОР“) – СЕКТОР 1, МАРКОВАЦ - ОРАШАЦ (МОТОПУТ М10), Хидропројект – Саобраћај, Грађевински факултет, Саобраћајни факултет, Београд, 2025.
- [5] ИДЕЈНИ ПРОЈЕКАТ СА СТУДИЈОМ ОПРАВДАНОСТИ И ПРОСТОРНИ ПЛАН ПОСЕБНЕ НАМЕНЕ ИНФРАСТРУКТУРНОГ КОРИДОРА „ВОЖД КАРАЂОРЂЕ“ („ШУМАДИЈСКИ КОРИДОР“) – СЕКТОР 3, МАЛИ ПОЖАРЕВАЦ – АРАНЂЕЛОВАЦ, Хидропројект – Саобраћај, Грађевински факултет, Саобраћајни факултет, Београд, 2025.

SUMMARY

General and Preliminary Design of the "Vožd Karađorđe" Expressway – Methodological and Professional Challenges

Abstract: According to the Terms of Reference for the General Design, the main corridor of the "Vožd Karađorđe" road extends in the west-east direction from its connection with the A2 motorway, via Lazarevac, Arandjelovac, Orašac, the connection with the A1 motorway and Despotovac, to Bor. In the north-south direction, the corridor extends from its connection with the A1 motorway (Mali Požarevac), via Mladenovac and Orašac, to Kragujevac. The initial section of the corridor, from the A2 connection to Orašac, and the section from Svilajnac to Bor were planned as expressways with a design speed of 100 km/h. The section from Orašac to Svilajnac was planned as a motorway with a design speed of 130 km/h. An expressway with a design speed of 100 km/h was envisaged from the A1 connection (Mali Požarevac), via Mladenovac, to Arandjelovac, while the continuation of the corridor to Kragujevac and the connection of Smederevska Palanka to the corridor were planned as two-lane roads with a design speed of 80 km/h. Alternative alignments for the "Vožd Karađorđe" road corridor were considered at the General Design stage, and the most favourable alternatives were selected through multi-criteria evaluation. From the outset, the multidisciplinary design team was aware of the unsustainability of the initial planning assumptions. Nevertheless, the team approached the Terms of Reference with maximum creativity and, in the conclusions of all analyses conducted, identified spatial constraints, inadequate traffic demand requirements and the lack of socio-economic justification. At the Preliminary Design stage, in accordance with the Spatial Plan and Location Conditions, the alignment from the A2 connection, via Lazarevac, Arandjelovac and Orašac, to the A1 connection (Markovac), as well as the section from Mali Požarevac to Orašac, was developed as an expressway with a design speed of 100 km/h. The results of alignment optimisation and the assessment of spatial, environmental and transport-economic rationality indicated that implementation of the expressway should proceed, accompanied by recommendations for further cost rationalisation and the rescheduling of the initial construction period, differentiated across the three defined sectors. The predominance of north-south travel movements and the need for a high-quality west-east road connection in Šumadija gave rise to a series of methodological and professional challenges, which, together with the results of the key analyses, are presented in this paper.

Keywords: General Design, Preliminary Design, expressway.

Procena PCE vrednosti na prilazima vangradske i gradske kružne raskrsnice

Marko Subotić, Saobraćajni fakultet Doboj, marko.subotic@sf.ues.rs.ba

Miroslav Đerić, Ministarstvo komunikacija i transporta BiH,
miroslav.djeric@mkt.gov.ba

Anđela Tomašević, Saobraćajni fakultet Doboj, andjelatomasevic2001@gmail.com

Rezime: Na osnovu obimnih empirijskih istraživanja sprovedenih u slobodnom saobraćajnom toku u lokalnim uslovima kvantifikovan je nepovoljni uticaj strukture saobraćajnog toka na prilazima kružnih raskrsnica kroz vrednosti ekvivalenata teretnih vozila (PCE – Passenger car equivalent). Istraživanje je sprovedeno na dve kružne raskrsnice sa gradskim i prigradskim tokovima, gde se na osnovu vremenskih intervala sleđenja (T_h) pristupilo izračunavanju PCE vrednosti. Dobijene vrednosti preporučene za lokalne uslove međusobno su upoređene komparativnom analizom, kao i sa preporučenim priručnikom za kapacitet puta za gradske i vangradske kružne raskrsnice. Takođe, uspostavljene su preporučene PCE vrednosti za lokalne uslove na kružnim raskrsnicama u Bosni i Hercegovini.

Ključne reči: efikasnost, vršno opterećenje, interval sleđenja, uslovi slobodnog toka

1 UVOD

Procena vrednosti PCE (ekvivalenata teretnih vozila) veoma je značajna za analizu kapaciteta i Nivoa Usluge (LOS-Level of Service) saobraćajnica, kao i za druge relevantne primene kao što su određivanje zasićenog toka, koordinacija svetlosnih signala, razvoj modela protoka saobraćaja i slično. Zbog česte primene ovih vrednosti, utvrđivanje tačnosti PCE pokazatelja predstavlja imperativ u analizi saobraćajnih tokova. U prethodnom periodu realizovano je mnogo istraživačkih poduhvata za procenu vrednosti PCE. Takođe, u mnogim zemljama razvijene su različite metode za procenu vrednosti PCE i njihovu primenu u lokalnim uslovima, iako ove metode nisu potpuno analogne za heterogeni saobraćajni tok, zbog prisustva različitih klasa vozila koja se pojavljuju, varijabilnosti vozila unutar klase i njihove manevarske sposobnosti.

Raskrsnice sa kružnim tokom su sve više aktuelne u primeni putnog inženjerstva, a pre svega zbog poboljšanja nivoa bezbednosti saobraćaja i optimalnog nivoa efikasnosti odvijanja saobraćaja. Funkcionalnost kružne raskrsnice zahteva ne samo pouzdan sistem proračuna za određivanje protoka na osnovu geometrijskih karakteristika kružne raskrsnice, već i značajne statističke podatke koji pokazuju uticaj parametara kao što su karakteristike ponašanja vozača i tip vozila. LTV (laka teretna vozila) i TTV (teška teretna vozila) i BUS (autobusi) imaju značajno veći uticaj na protočnost kružne raskrsnice od PA (putničkih automobila), pa se moraju uzeti u obzir prilikom planerskih, projektantskih i saobraćajnih analiza. Mali broj studija je proučavao uticaj TTV na protok kružnih raskrsnica, tako da se pokazalo veoma značajnim kvantifikovanje vrednosti PCE na

pristupnim kracima. U HCM-2016 [1] obrađene su kružne raskrsnice i predložen je PCE faktor koji iznosi 2,0 za sva teretna vozila (TV).

Osnovni cilj ovog istraživanja je proučavanje PCE pokazatelja na prilaznim kracima kružnih raskrsnica i utvrđivanje reprezentativnih lokalno preporučenih vrednosti. Hipotetička je pretpostavka da TV imaju veći uticaj na protočnost kružne raskrsnice, nego PA u urbanim i ruralnim područjima, ali je ipak očekivano da će uticaj TV na funkcionalnost kružne raskrsnice značajno varirati, što zavisi od nivoa opterećenja (vršnog i vanvršnog). Dodatni cilj ovog istraživanja je odrediti novu lokalno preporučenu ekvivalentnost TV za planiranje i projektovanje kružnih raskrsnica u Bosni i Hercegovini. Rezultati dobijeni u ovom istraživanju imaju za cilj da pruže pregled postojećih znanja o proceni vrednosti PCE na prilaznim kracima kružnih raskrsnica, a dodatno mogu predstavljati smernice za saobraćajne inženjere u planiranju, projektovanju i analizi kapaciteta kružnih raskrsnica u uslovima heterogenog saobraćaja.

2 LITERARNI PREGLED

Geometrijske karakteristike kružnih raskrsnica oslanjaju se na koncept prohodnost vozila, odnosno najvećeg gabarita vozila, kao korisnika putne mreže [2]. U realnom saobraćajnom toku, posebno značajan probleme je “zauzetost” prostora teških vozila u kružnim raskrsnicama koji mogu uticati na ponašanje vozača prilikom prihvatanja “vremenskih praznina” unutar mešovitog toka, kao i na analizu kapaciteta [3]. HCM priručnici [1,4] koriste za procenu performansi kružnih raskrsnica prilagođavanje brzine saobraćajnog toka koji obuhvata i analizu strukture toka kroz PCE vrednosti.

Posebno je značajno istaći da je sprovedeno malo istraživanja o procesima ponašanja i fizičkim procesima kretanja vozila na ulazima u kružne raskrsnice u heterogenim uslovima odvijanja saobraćaja. Istraživanja se uglavnom baziraju na metodologiji i utvrđivanju preporučenih PCE vrednosti.

Na osnovu istraživanja sprovedenog na tri kružne raskrsnice u Vermontu, Ontariu i Vinskonsinu, pokazano je da PCE vrednosti za teška vozila iznose 1,5–2,5, a za laka vozila 1,0–1,5. PCE vrednosti za LTV su bile niža od HCM vrednosti koja se preporučuje i iznosi 2,0. [4,5] Uprkos značajnim ograničenjima, relevantne informacije o statističkim metodama i metodama zasnovanim na simulaciji saobraćajnih tokova za izračunavanje PCE vrednosti na pristupnim kracima kružnih raskrsnica, izvedene iz procesa prikupljanja podataka iz studija, navedene su u tabeli 1.

Tabela 1. Pregled značajnih istraživanja

Reference	Tip saobraćajnice	Klase vozila za određivanje PCE	Metoda/Model	Istraživački pristup	Ključni nalazi
Akcelik, R. [6]	Kružne raskrsnice	TV	Analički model kapaciteta (prihvatanje vremenskih praznina)	Teorijski/analitički	Učešće TV smanjuje kapacitet
Raj, P. et al. [7]	Saobraćajnice	TV	Konceptualni geometrijski model	Teorijski	Geometrija raskrsnice značajno utiče na PCE
Giuffrè et al. [8]	Kružne raskrsnice	TV	Sinteza literature	Pregledni rad	PCE zavisi od više faktora
Mohan, M., & Chandra, S. [9]	Urbane arterije	PA i mješoviti saobraćajni tok	Metoda vremenskog razmaka	Empirijski	PCE varira u zavisnosti od karakteristika saobraćajnog toka
P. Lertworawanich [10]	Brze saobraćajnice	PA, TV	Metoda vremenskog razmaka	Empirijski	PCE varira sa gustinom saobraćajnog toka
Karlaftis, M., Gollas, I. [11]	Vanurbani putevi	Mješoviti saobraćajni tok	Regresioni modeli	Empirijski	PCE zavisi od karakteristika puta i saobraćajnog toka

Al-Kaisy et al. [12]	Autoputevi	TV	Metoda utvrđivanja brzine slobodnog toka	Empirijski	PCE zavisi od brzine i strukture vozila u saobraćajnom toku
Kang, K.; Nakamura, H. [13]	Kružne raskrsnice	TV	Terenska mjerenja kapaciteta	Empirijski	Ulazni kapacitet se smanjuje u funkciji učešća TV
Macioszek, E. [14]	Turbo kružne raskrsnice	TV	Empirijsko terensko istraživanje	Empirijski	PCE ≈ 1.6–2.0
Keller, H.; Saklas, J. [15]	Urbane arterije	Heterogeni saobraćajni tok	Teorijski i empirijski pristup	Kombinovani	PCE zavisi od sastava i uslova saobraćajnog toka
Acosta, Y. M. C. [16]	Kružne raskrsnice	Mješovite klase vozila	Metoda vremenskog razmaka + regresija	Empirijsko/analitički	PCE zavisi od međusobne interakcije vozila
Al-Kaisy, A.; Hall, F.; Reisman, E. [17]	Autoputevi	TV	Analiza praznjenja kolone + optimizacija	Empirijsko/analitički	PCE je veći u uslovima zagušenja
Yeung, J.S. et al. [18]	Urbane brze saobraćajnice	PA i TV	Višestruka linearna regresija	Empirijski	PCE značajno varira u zavisnosti od saobraćajnog toka
Pajceki et al. [19]	Kružne raskrsnice	Više tipova vozila	Mikrosimulacija (VISSIM)	Simulacioni	PCE zavisi od tipa vozila i uslova saobraćaja
Giuffrè, O.; Granà, A.; Marino, S. [20]	Jednotračne kružne raskrsnice	TV	Kalibracija simulacionog modela	Simulacioni	Predložena metoda za procjenu PCE
Giuffrè et al. [21]	Turbo kružne raskrsnice	TV po saobraćajnim trakama	Mikrosimulacija po trakama	Simulacioni	PCE varira po saobraćajnim trakama
Granà et al. [22]	Dvotračne i turbo kružne raskrsnice	TV po saobraćajnim trakama	Mikrosimulacija (AIMSUN)	Simulacioni	Preporučuje se određivanje PCE po saobraćajnim trakama

Analizom prethodno navedenih literarnih izvora može se zaključiti da interakcija između operativnih performansi TV i geometrijskih karakteristika kružnih raskrsnica može proizvesti značajan uticaj na putanje kretanja TV i sposobnosti manevrisanja zbog krivolinijske prirode dizajna kružne raskrsnice. Literatura predstavlja različite metode procene za dobijanje PCE vrijednosti za TV. Zbog toga se vrednosti PCE kvantitativno razlikuju.

3 MATERIJAL I METODE

Metod za utvrđivanje vrednosti PCE zasnovan je na odnosu srednje vrednosti intervala sleđenja kod posmatrane klase vozila i srednje vrednosti intervala sleđenja koje prave PA. Analitički, formulacija je data po poznatom Greenshiels-ovom modelu:

$$PCE = \frac{T_{hij}}{T_{hPA}} \quad (1)$$

gde je:

T_{hij} - srednja vrednost intervala sleđenja za posmatranu klasu vozila i, pod uslovima j,

T_{hPA} - srednja vrednost intervala sleđenja putničkih automobila.

U aktuelnim inženjerskim priručnicima za proračun kapaciteta i Nivoa Usluge, za kvantifikovanje uticaja strukture saobraćajnog toka na veličinu zasićenog toka, koristi se tzv. „faktor uticaja komercijalnih vozila“ [23-24], koji je suštinski formiran na bazi vrednosti PCE definisanih kategorija vozila. Njegov odnos prikazan je u narednoj relaciji:

$$F_{KV} = \frac{1}{1 + P_i \cdot (PCE_i - 1) + P_j \cdot (PCE_j - 1) + \dots P_n \cdot (PCE_n - 1)} \quad (2)$$

gde je:

F_{KV} - faktor uticaja komercijalnih vozila;

$P_{(i-n)}$ - procenat učešća pojedinačne kategorije vozila;

$PCE_{(i-n)}$ - PCE vrednost određene kategorije vozila.

Podatke o obimu saobraćaja za gradsku i vangradsku kružnu raskrslnicu potrebno je prikupljati tokom jutarnjih i popodnevnihi vršnih perioda, kao i tokom podnevnihi i večernjih vanvršnih perioda, radi dobijanja relevantnih vrednosti za procenu faktora uticaja komercijalnih vozila. Pretpostavka je da su prosečni vremenski uslovi bez kiše, snega i magle, te da su vozači približnih psihofizičkih sposobnosti.

Tipično, empirijsko istraživanje intervala sleđenja na kružnim raskrslnicama se vrši u saobraćajnoj traci na prilazu raskrslnici, pri čemu posmatrač beleži interval sleđenja vozila koji prolaze tim presekom tokom određenog vremenskog perioda (vršnog ili vanvršnog). Istraživanje je potrebno sprovesti u uslovima slobodnog saobraćajnog toka. Nakon toga, primenom prethodno navedenih relacija, vrši se sinteza i analiza dobijenih podataka, koji se kvantifikuju kroz dobijanje PCE vrednosti. Preporučene PCE vrednosti prema HCM-u [1,4] za prilazni krak kružne raskrslnice iznose $PCE_{TV,BUS}=1,50$ i $PCE_{AV}=2,00$.

Istraživanje je sprovedeno na približno 20 m od zaustavne linije prilazih krakova kružnih raskrslnica, a interval sleđenja je beležen video zapisom. Navedene vrednosti su uporedive sa lokalno dobijenim vrednostima.

4 STUDIJA SLUČAJA KRUŽNIH RASKRSLNICA U BRČKOM I DOBOJU

Istraživanje koje je predmet ovog rada je sprovedeno na dve trokrake kružne raskrslnice sa po jednom ulaznom saobraćajnom trakom na prilaznom toku, a na jednotračnom kružnom kolovozu (slika 1). Jedan kružni tok nalazi se u urbanom području - gradska raskrslnica u Brčkom, dok je drugi vangradska kružna raskrslnica smeštena u Doboju. Ovakav izbor omogućava upoređivanje ponašanja vozača u različitim urbanim i vangradskim uslovima, uzimajući u obzir saobraćajne i infrastrukturne razlike.

Vremenski okvir istraživanja obuhvatio je dane u kojima su podaci prikupljeni u vršnim (08:00-09:00 i 15:00-17:00) i vanvršnim časovima (11:00-12:00 i 18:00-19:00). Terensko posmatranje i empirijsko merenje vršeno je u periodu od 24. do 28. aprila 2025. godine. Terensko posmatranje obavljeno je sa sigurne udaljenosti, bez ometanja saobraćajnog toka, u skladu sa etičkim principima istraživanja.



Slika 1. Lokacija trokrakih kružnih raskrslnica sa prilaznim kracima u Brčkom i Doboju

Ipak, pre nego što se pristupi analizi dobijenih vrednosti intervala sleđenja, utvrđena je struktura vozila u toku na prikazanim kružnim raskrslnicama za sva tri prilazna analizirana kraka. Izmerena vrednost izražena u procentima na raskrslnici u Brčkom iznosi

81,2% putničkih vozila i 18,8% komercijalnih vozila, dok je na raskrsnici u Doboju učešće komercijalnih vozila iznosilo 23,7% (76,3% putničkih automobila). U skladu sa dobijenim vrednostima, može se smatrati opravdanim izučavanje i analiza vrednosti intervala sleđenja, a time i PCE vrednosti, jer je utvrđen značajan uticaj komercijalnih vozila, a pre svega LTV na saobraćajni tok.

Primenom deskriptivne statistike u tabeli 2 i tabeli 3 prikazane su dobijene vrednosti intervala sleđenja gradske i vangradske kružne raskrsnice dobijene u vršnom i vanvršnom opterećenju prema navedenom uzorku.

Tabela 2. Statistički dobijene vrednosti intervala sleđenja u vršnom i vanvršnom opterećenju- Doboju

Vangradska kružna raskrsnica	Interval sleđenja (Th) PA na "INA Benzinska stanica" Doboju											
	Vršno časovno opterećenje						Vanvršno časovno opterećenje					
	K1		K2		K3		K1		K2		K3	
	08-09 h	15-16 h	08-09 h	15-16 h	08-09 h	15-16 h	11-12 h	18-19 h	11-12 h	18-19 h	11-12 h	18-19 h
Veličina uzorka	328	587	432	398	495	601	451	348	448	433	591	640
Isključeno iz uzorka	63	24	25	20	13	8	29	54	36	28	7	27
%isključeno	19,2%	4,1%	5,8%	5,0%	2,6%	1,3%	6,4%	15,5%	8,0%	6,5%	1,2%	4,2%
AS (Th)	5,806	5,456	4,946	5,181	3,637	3,726	6,321	6,552	4,740	4,851	3,702	3,996
Sd	2,600	2,689	3,167	3,096	2,344	2,207	2,663	3,166	2,967	3,280	2,276	2,481
Kv	0,448	0,493	0,640	0,598	0,645	0,592	0,421	0,483	0,626	0,676	0,615	0,621
Max	14,797	14,922	14,984	14,859	14,953	13,563	14,750	14,969	13,734	14,765	14,266	14,813
Min	1,469	1,750	0,156	1,188	0,531	0,890	1,828	1,750	0,344	0,672	0,984	0,843
Medijana	4,593	4,688	3,782	4,141	2,938	3,078	5,743	5,961	4,000	3,625	3,046	3,250

U tabeli 2 dobijene vrednosti intervala sleđenja na kružnoj raskrsnici u Doboju sintetizovani su za PA, na uzorku od 5752 izmerene vrednosti intervala sleđenja, od čega je iz uzorka isključeno 334 (5,8%) vrednosti. Dobijeni rezultati pokazuju vrednosti od 3,637 do 6,552 s, pa se može zaključiti da u vanvršnom opterećenju se dobijaju veće vrednosti intervala sleđenja PA, nego što je to slučaj u vršnom opterećenju. Takođe, pokazatelji standardnog odstupanja (Sd), prikazuju visoke vrednosti u odnosu na aritmetičku sredinu (As), što je prikazano kvantitativnim vrednostima koeficijenta korelacije (kv), a govori o velikom nivou rasipanja vrednosti intervala sleđenja za PA.

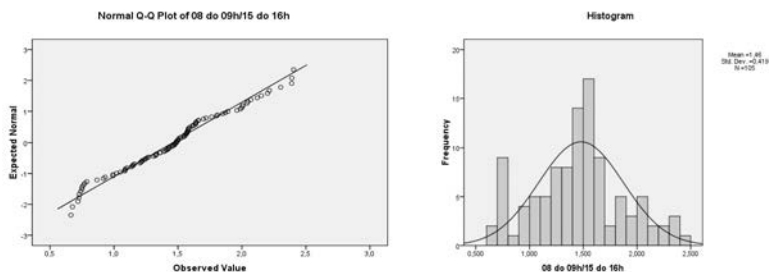
Tabela 3. Statistički dobijene vrednosti intervala sleđenja u vršnom i vanvršnom opterećenju- Brčko

Gradska kružna raskrsnica	Interval sleđenja (Th) PA na "Brčko gas" Brčko											
	Vršno časovno opterećenje						Vanvršno časovno opterećenje					
	K1		K2		K3		K1		K2		K3	
	08-09 h	15-16 h	08-09 h	15-16 h	08-09 h	15-16 h	11-12 h	18-19 h	11-12 h	18-19 h	11-12 h	18-19 h
Veličina uzorka	418	490	520	408	642	781	477	289	504	331	686	402
Isključeno iz uzorka	31	39	38	20	14	23	41	12	38	26	32	22
%isključeno	7,4%	8,0%	7,3%	4,9%	2,2%	2,9%	8,6%	4,2%	7,5%	7,9%	4,7%	5,5%
AS (Th)	5,875	5,407	5,862	5,755	4,764	4,516	5,768	6,135	5,548	6,863	4,639	5,737
Sd	3,396	3,037	3,187	3,229	2,783	2,514	3,095	3,702	3,017	3,807	2,641	3,335
Kv	0,578	0,562	0,544	0,561	0,584	0,557	0,537	0,603	0,544	0,555	0,569	0,581
Max	14,694	14,789	14,914	14,913	14,383	14,321	14,726	14,960	14,742	15,772	14,976	14,820
Min	1,732	0,171	1,466	1,170	1,341	1,388	0,250	0,140	1,467	1,030	1,451	1,373
Medijana	4,570	4,361	4,898	4,626	3,698	3,682	4,665	4,876	4,602	5,960	3,830	4,820

Na osnovu dobijenih vrednosti u tabeli 3, intervala sleđenja za PA na kružnoj raskrsnici u Brčkom, na uzorku od 5948 izmerenih vrednosti, iz uzorka je isključeno 336 (5,6%). Dobijeni rezultati pokazuju vrednosti od 4,516 do 6,863s. Može se zaključiti, da se dobijaju disperzivno različite vrednosti A_s u vanvršnom i vršnom opterećenju intervala sleđenja PA, i da se ne može govoriti o većim/manjim vrednostima intervala sleđenja u vanvršnom opterećenju kod gradske kružne raskrsnice. Takođe, pokazatelji standardnog odstupanja (S_d), prikazuju visoke vrednosti u odnosu na aritmetičku sredinu (A_s), što govori o velikom nivou rasipanja vrednosti intervala sleđenja za PA na trokrakoj gradskoj kružnoj raskrsnici u Brčko Distriktu.

Na osnovu utvrđenih vrednosti intervala sleđenja za PA, pristupilo se obradi intervala sleđenja za komercijalna vozila (LTV, TTV i BUS) u zavisnosti od njihovog prisustva u saobraćajnom toku. Dobijene vrednosti su pretvarane u PCE na osnovu Greenshields-ovog modela za utvrđivanje vrednosti ekvivalenata pomoću intervala sleđenja (T_h). Dobijene vrednosti testirane su proverom (testom) normalnosti raspodele, što je prikazano za jedan uzorak LTV na kružnoj raskrsnici u Brčkom, KRAK 2 u periodu vršnog opterećenja (Slika 2).

Analizom dobijenih vrednosti PCE za prilazni krak, potvrđeno je 105 izmerenih vrednosti, čime je testom normalnosti pokazano na osnovu Kolmogorov-Smirnov-og testa da je granično prihvatljiva pretpostavka o normalnosti ($p=0,049 \approx 0.05$) za uzorak nešto veći od $N=100$. Na slici 2 prikazani su dijagram normalnosti sa histogramom.



Slika 2. Dijagram normalnosti raspodele sa histogramom frekvencija

Podaci o rastojanjima sleđenja LTV, TTV i BUS prikupljeni su i obrađeni na osnovu Greenshields-ovog modela za dobijanje PCE vrednosti, pri čemu je analizirano 1440 izmerenih vrednosti PCE na svim kracima gradske i vangradske kružne raskrsnice u vršnom i vanvršnom opterećenju. U tabeli 4 može se uočiti da su vrednosti PCE između 1,00 i 2,00 na vangradskoj kružnoj raskrsnici, dok se na osnovu tabele 5 može videti da PCE vrednosti za BUS i TTV nekada prelaze vrednost 2,00.

U tabeli 5, PCE vrednosti za BUS u vanvršnom opterećenju na kraku K2 iznose 2,56, ali na maloj vrednosti mernog uzorka (izmerenih 7 PCE vrednosti), dok je standardno odstupanje izuzetno visoko i iznosi 2,168, što se ne može prihvatiti kao relevantna vrednost. PCE vrednosti za vršno i vanvršno opterećenje za LTV teže ka $PCE=1,50$, dok se vrednosti kod vangradske kružne raskrsnice na prilaznim kracima iz tabele 4 za LTV kreću u rasponu od 1,00 do 1,50. Visoko dobijena vrednost PCE na gradskoj kružnoj raskrsnici (tabela 5) u vršnom opterećenju iznosi $PCE=2,107$ za TTV.

Tabela 4. Statistički pokazatelji dobijenih PCE vrednosti na prilaznim kracima vangradske kružne raskrsnice

INA-Doboj		K1- LTV		K2- LTV		K2- TTV		K2- BUS		K3- LTV		K3- TTV	
Vangradska kružna raskrsnica		Vršno opterećenje 16h	Vršno opterećenje 11-12h-18-19h	Vršno opterećenje 08-09h-15-16h	Vršno opterećenje 11-12h-18-19h	Vršno opterećenje 08-09h-15-16h	Vršno opterećenje 11-12h-18-19h	Vršno opterećenje 08-09h-15-16h	Vršno opterećenje 11-12h-18-19h	Vršno opterećenje 08-09h-15-16h	Vršno opterećenje 11-12h-18-19h	Vršno opterećenje 08-09h-15-16h	Vršno opterećenje 11-12h-18-19h
N	Valid Missing	37 0	34 3	110 0	102 8	107 22	128 1	11 118	10 119	120 27	81 66	118 29	111 36
Mean		1,839	1,354	1,130	1,188	1,488	1,718	1,752	1,301	1,469	1,033	1,493	1,432
Median		1,713	1,219	1,128	1,131	1,42	1,675	1,728	1,229	1,441	,9850	1,470	1,355
Mode		,323a	1,216	,531a	,699a	1,212a	1,572a	,875a	,461a	1,33	,90a	1,00	,71a
Std. Deviation		1,075	,574811	,540685	,527276	,668320	,510324	,701084	,588734	,52956	,32562	,48623	,63797
Variance		1,156	,330	,292	,278	,447	,260	,492	,347	,280	,106	,236	,407
Skewness		,691	,693	,342	,070	,648	,532	,724	,862	,458	,362	,229	,580
Std. Error of Skewness		,388	,203	,230	,234	,388	,214	,661	,687	,221	,267	,223	,229
Kurtosis		-,043	-,248	-,832	,321	,025	-,365	-,1582	,1112	-,542	-,558	-,872	-,356
Std. Error of Kurtosis		,759	,788	,463	,474	,463	,425	1,279	1,334	,438	,529	,442	,455
Range		4,344	2,371	2,136	2,337	3,127	2,073	1,889	2,067	2,19	1,32	2,06	2,71
Minimum		,323	,368	,199	,330	,234	,916	,875	,461	,58	,44	,62	,34
Maximum		4,667	2,739	2,335	2,667	3,361	2,989	2,764	2,528	2,78	1,76	2,68	3,05
Percentiles		25 50 75	,91700 1,031 1,218	,65625 1,031 1,128	,76150 1,025 1,131	,97400 1,344 1,420	,92725 1,344 1,675	,97400 1,344 1,728	,92725 1,344 1,675	,92725 1,344 1,728	,92725 1,344 1,675	,92725 1,344 1,675	,92725 1,344 1,675

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Tabela 5. Statistički pokazatelji dobijenih PCE vrednosti na prilaznim kracima gradske kružne raskrsnice

Brčkovas-Brčko		K1- LTV		K2- LTV		K2- TTV		K2- BUS		K3- LTV		K3- BUS	
Gradska kružna raskrsnica		Vršno opterećenje 16h	Vršno opterećenje 11-12h-18-19h	Vršno opterećenje 08-09h-15-16h	Vršno opterećenje 11-12h-18-19h	Vršno opterećenje 08-09h-15-16h	Vršno opterećenje 11-12h-18-19h	Vršno opterećenje 08-09h-15-16h	Vršno opterećenje 11-12h-18-19h	Vršno opterećenje 08-09h-15-16h	Vršno opterećenje 11-12h-18-19h	Vršno opterećenje 08-09h-15-16h	Vršno opterećenje 11-12h-18-19h
N	Valid Missing	58 47	50 55	105 0	78 27	22 83	10 95	9 96	7 98	64 41	44 61	9 96	15 90
Mean		1,487	1,586	1,459	1,356	2,107	1,907	1,893	2,560	1,450	1,360	1,651	1,679
Median		1,514	1,481	1,487	1,376	1,889	1,929	1,764	1,946	1,517	1,405	1,600	1,807
Mode		1,629	,865a	1,583	1,389a	1,889	,829a	918a	,582a	915a	914a	1,152a	,888a
Std. Deviation		,375289	,378567	,418550	,442055	,875592	,744388	,673182	2,168392	,381845	,259885	,546427	,373549
Variance		,141	,143	,175	,195	,767	,554	,453	4,702	,146	,068	,299	,140
Skewness		,004	,449	,108	,410	,651	,009	,726	1,497	,029	-,161	,712	-,006
Std. Error of Skewness		,314	,337	,236	,272	,491	,687	,717	,794	,299	,357	,717	,580
Kurtosis		-,718	-,104	-,289	-,151	-,284	-,1488	,390	2,199	-,775	-,036	-,1067	,209
Std. Error of Kurtosis		,618	,662	,467	,538	,953	1,334	1,400	1,587	,590	,702	1,400	1,121
Range		1,351	1,645	1,740	2,014	3,052	2,155	2,217	6,242	1,942	950	1,397	1,231
Minimum		,819	,865	,664	,624	1,006	,829	,918	,582	802	914	1,152	,888
Maximum		25	2,510	2,404	2,638	4,058	2,984	3,135	6,824	2,294	1,864	2,549	2,119
Percentiles		50 75	1,169 1,514	1,182 1,487	,98000 1,376	1,268 1,889	1,206 1,929	1,487 1,764	,75400 1,946	1,097 1,517	1,116 1,405	1,170 1,600	1,437 1,807

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Na osnovu sinteze podataka utvrđenih PCE vrednosti pokazana je disperzija dobijenih vrednosti, tako da se može konstatovati da ove vrednosti nisu konstantne, već promenljive veličine i da one zavise od putnih i saobraćajnih uslova.

5 DISKUSIJA REZULTATA I ZAKLJUČCI

Kao osnovni cilj ovog rada, istraživanjem su dobijene PCE vrednosti, koje se mogu prihvatiti kao relevantne u lokalnim uslovima. Preporučene vrednosti utvrđene su za vršne i vanvršne periode na gradskim i vangradskim kružnim raskrsnicama. Dobijene vrednosti PCE utvrđene su na osnovu Greenshields-ovog modela i pokazuju značajan nivo disperzije. U okviru ovakvog istraživanja zaključeno je da se dobijene PCE vrednosti u znatnoj meri poklapaju sa HCM vrednostima [1,4] pri čemu se PCE vrednosti kreću od 1,00 do 2,00 u većini slučajeva za ispitivane klase vozila i kao takve se mogu preporučiti u inženjerskoj primeni. Takođe, nešto veće PCE vrednosti se dobijaju na prilaznim kracima kod gradskih, nego kod vangradskih kružnih raskrsnica, dok se ne može pronaći funkcionalno veća ili manja vrednost za PCE u vršnim, odnosno vanvršnim opterećenjima. Povećanje vrednosti PCE na gradskim raskrsnicama, rezultat je postavljanja brzine ograničenja, efekta defleksije kao i manje disharmonizacije u kretanju vozila u kome ravnopravno učestvuju izvorno-ciljni, lokalni i tranzitni tokovi. Najveće PCE vrednosti za BUS dobijene na gradskoj kružnoj raskrsnici u Brčkom ($PCE=2,56$), ali za manji uzorak ($n=7$), što se ne može prihvatiti kao reprezentativna vrednost. Osim toga, PCE vrednosti u vršnom opterećenju na vangradskoj raskrsnici su nešto veće od dobijenih vrednosti u vanvršnom opterećenju, dok su kod gradske raskrsnice ove vrednosti približne. Takođe, izmerene PCE vrednosti na prilaznim kracima kružnih trokrakih raskrsnica u uslovima slobodnog toka poređene su sa podacima dobijenim iz priručnika HCM [1,4]. Posebno je uočeno da su veće vrednosti intervala sleđenja dobijane za veće dužine reda vozila, dok su manje vrednosti bile za kraće redove vozila koja čekaju pražnjenje kolone. Utvrđivanje repernih vrednosti PCE primenljivih u lokalnim uslovima, od značaja je za analizu podataka fokusiranih na identifikovanju dodatnih faktora koji utiču teorijsku aproksimaciju prevođenja TV u PA, a naročito na faktore koji mogu imati uticaj na gustinu, zauzetost i zasićenje. Takođe, evidentna je tvrdnja mnogih istraživača da vozači održavaju duža rastojanja kada prate (lako) teretno vozilo, nego kada prate PA. LTV imaju neznatan uticaj u uslovima slobodnog toka, gde PCE date raskrsnice se kreće od niske vrednosti (1,033) do dijametralno visoke (2,107), što je u saglasnosti sa vrednostima dobijenim u HCM [1,4] (ako se zbog malog uzorka izuzmu PCE za BUS). Standardna odstupanja dobijenih vrednosti pokazuju da PCE odstupaju od slučaja do slučaja, da nisu fiksne veličine i da se njihovom kvantifikacijom vrednosti mogu predložiti ekvivalenti u lokalnim uslovima, primenljivi u inženjerskim disciplinama.

Preporuke za buduća istraživanja odnose se na mogućnost praćenja PCE vrednosti duž prilaznih krakova gradskih i vangradskih kružnih raskrsnica, u vršnom i vanvršnom opterećenju. Takođe bi bilo poželjno da buduće lokacije za prikupljanje podataka uključe i mogućnost sistematičnije klasifikacije vozila, selekcije vozila prema masi i osovinskim opterećenjima.

LITERATURA

- [1] Highway Capacity Manual (2016). 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis. Washington, DC: The National Academies Press.
- [2] Chevuri, P. K. (2018). Trucks at roundabouts: a synthesis study. *Journal of Transportation Technologies*, 8, 65-74.
- [3] Guerrieri, M., Mauro, R., & Tollazzi, T. (2019). Turbo-roundabout: Case study of driver behavior and kinematic parameters of light and heavy vehicles. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 145(6), 05019002.
- [4] Highway Capacity Manual (2022). 7th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis. Washington, DC: The National Academies Press.
- [5] Lee, C. (2015). Developing passenger-car equivalents for heavy vehicles in entry flow at roundabouts. *Journal of Transportation Engineering*, 141(8), 04015013.
- [6] Akçelik, R. (2005). Roundabout model calibration issues and a case study. In *TRB National Roundabout Conference*, Vail, Colorado, USA (Vol. 22, p. 25).
- [7] Raj, P., Sivagnanasundaram, K., Asaithambi, G., & Ravi Shankar, A. U. (2019). Review of methods for estimation of passenger car unit values of vehicles. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 145(6), 04019019.
- [8] Giuffrè, O., Granà, A., Giuffrè, T., Tumminello, M. L., & Acuto, F. (2019). Passenger car equivalents for heavy vehicles at roundabouts. A synthesis review. *Frontiers in Built Environment*, 5, 80.
- [9] Mohan, M., & Chandra, S. (2018). Three methods of PCU estimation at unsignalized intersections. *Transportation letters*, 10(2), 68-74.
- [10] Lertworawanich, P. (2024). How Passenger Car Equivalents (PCEs) Change with Densities?. In *2024 IEEE 27th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 4270-4275). IEEE.
- [11] Karlaftis, M. G., & Golias, I. (2002). Effects of road geometry and traffic volumes on rural roadway accident rates. *Accident Analysis & Prevention*, 34(3), 357-365.
- [12] Al-Kaisy, A. (2019). Passenger Car Equivalents for Heavy Vehicles at Roundabouts. a Synthesis Review. *Frontiers in Built Environment*.
- [13] Kang, N., & Nakamura, H. (2016). An analysis of heavy vehicle impact on roundabout entry capacity in Japan. *Transportation research procedia*, 15, 308-318.
- [14] Macioszek, E. (2015). The road safety at turbo roundabouts in Poland. *Archives of Transport*, 33.
- [15] Keller, E. L., & Saklas, J. G. (1984). Passenger car equivalents from network simulation. *Journal of Transportation Engineering*, 110(4), 397-411.
- [16] Acosta, Y. M. C. (2022). Evaluation of Traffic Performance at Roundabouts (Master's thesis, Universidade do Minho (Portugal)).
- [17] Al-Kaisy, A. F., Hall, F. L., & Reisman, E. S. (2002). Developing passenger car equivalents for heavy vehicles on freeways during queue discharge flow. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 36(8), 725-742.
- [18] Yeung, J. S., Wong, Y. D., & Secadiningrat, J. R. (2015). Lane-harmonised passenger car equivalents for heterogeneous expressway traffic. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 78, 361-370.
- [19] Pajecki, R., Ahmed, F., Qu, X., Zheng, X., Yang, Y., & Easa, S. (2019). Estimating passenger car equivalent of heavy vehicles at roundabout entry using micro-traffic simulation. *Frontiers in Built Environment*, 5, 77.
- [20] Giuffrè, O., Grana, A., Tumminello, M. L., & Sferlazza, A. (2017). Estimation of Passenger Car Equivalents for single-lane roundabouts using a microsimulation-based procedure. *Expert Systems with Applications*, 79, 333-347.

- [21] Giuffrè, O., Grana, A., Marino, S., & Galatioto, F. (2016). Passenger car equivalent for heavy vehicles crossing turbo-roundabouts. *Transportation Research Procedia*, 14, 4190-4199.
- [22] Granà, A., Giuffrè, T., Macioszek, E., & Acuto, F. (2020). Estimation of passenger car equivalents for two-lane and turbo roundabouts using AIMSUN. *Frontiers in Built Environment*, 6, 86.
- [23] Čelar, N. (2007). Istraživanje vrednosti zasićenog saobraćajnog toka na osnovnoj uličnoj mreži grada Beograda. *TEHNIKA-BEOGRAD*-, 62(6), F1.
- [24] Subotić, M., Tubić, V., & Anđelković, D. (2011). Research of the light duty vehicles equivalents at the mixed lanes of the signal crossroads at the central city zone. *Mechanics Transport Communications: 20th International Scientific*.

SUMMARY

Assessment of PCE values at approaches to suburban and urban roundabouts

Abstract: Based on extensive empirical research conducted under free-flow traffic conditions in local environments, the adverse impact of traffic flow composition at approaches of roundabouts was quantified using heavy vehicle passenger car equivalent values (PCE-Passenger Car Equivalent). The research was conducted at two roundabouts with urban and suburban traffic flows, where PCE values were determined based on headway time intervals (Th). The obtained values, recommended for local conditions, were compared through a comparative analysis, as well as with the recommendations provided in the Highway Capacity Manual for urban and rural roundabouts. Furthermore, recommended PCE values for local conditions at roundabouts in Bosnia and Herzegovina were established. PCE values for local conditions at roundabouts in Bosnia and Herzegovina were established.

Key words: Efficiency, peak traffic load, headway, free-flow traffic conditions

Uticaj učešća automatizovanih vozila u saobraćajnom toku na kapacitet autoputeva

Miloš Tubić, Saobraćajni fakultet, Beograd, m.tubic@sf.bg.ac.rs

Dušan Mladenović, Saobraćajni fakultet, Beograd, d.mladenovic@sf.bg.ac.rs

Nemanja Stepanović, Saobraćajni fakultet, Beograd, n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Razvoj automatizovanih vozila može značajno uticati na funkcionisanje saobraćajnih sistema i iskorišćenje postojeće putne infrastrukture. Posebno je značajan njihov potencijalni uticaj na kapacitet autoputeva, koji se može ostvariti smanjenjem vremenskih intervala sleđenja između uzastopnih vozila. U radu je analiziran uticaj različitog učešća automatizovanih putničkih automobila na kapacitet trake autoputa u uslovima mešovitog saobraćajnog toka. Formiran je analitički model zasnovan na vremenskim intervalima sleđenja između različitih scenarija učešća konvencionalnih i automatizovanih vozila. Analizirana su tri scenarija strukture saobraćajnog toka, dok je učešće automatizovanih putničkih automobila varirano od 0% do 100%. Rezultati pokazuju da povećanje njihovog učešća dovodi do povećanja kapaciteta u svim analiziranim scenarijima. U teorijskom toku bez komercijalnih vozila kapacitet se povećava za oko 111%, dok povećanje iznosi oko 52% pri prosečnom učešću komercijalnih vozila od 16,3% i oko 38% pri njihovom najvećem učešću u analiziranom uzorku od 23,3%. Rezultati ukazuju da prisustvo konvencionalnih komercijalnih vozila značajno ograničava potencijalno povećanje kapaciteta ostvareno automatizacijom putničkih automobila.

Ključne reči: automatizovana vozila, kapacitet autoputeva, mešoviti saobraćajni tok, penetracija automatizovanih vozila, vremenski interval sleđenja.

1 UVOD

Razvoj automatizovanih vozila predstavlja jednu od značajnijih tehnoloških promena u drumskom saobraćaju. Njihova primena može uticati na osnovne karakteristike saobraćajnog toka, uključujući kapacitet puteva, prvenstveno kroz smanjenje uticaja ljudskog faktora i vremena reakcije, zahvaljujući mogućnosti automatizovanih sistema da brže i preciznije reaguju na promene u saobraćajnom toku. Mogućnost preciznijeg upravljanja i ostvarivanja kraćih vremenskih intervala sleđenja posebno je značajna na autoputevima, gde se smanjenje intervala između uzastopnih vozila neposredno može odraziti na povećanje kapaciteta.

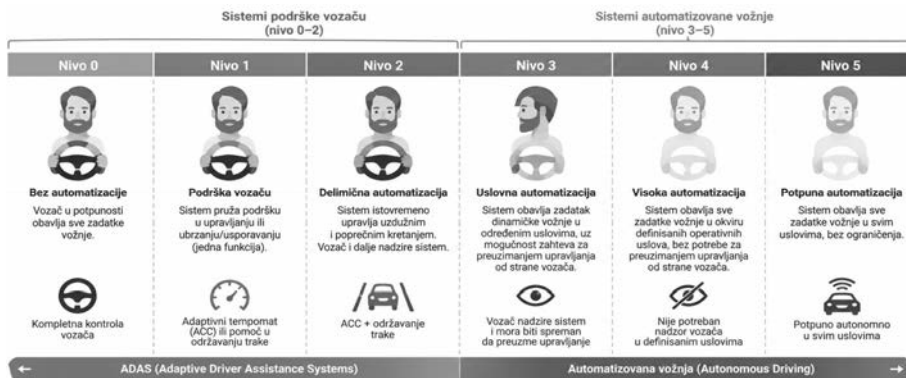
U prelaznom periodu očekuje se istovremeno prisustvo konvencionalnih i automatizovanih vozila, zbog čega efekti automatizacije zavise i od učešća automatizovanih vozila i strukture saobraćajnog toka. Dosadašnja istraživanja pokazuju da povećanje njihovog učešća može doprineti povećanju kapaciteta, pri čemu su značajni vremenski intervali sleđenja između različitih kombinacija konvencionalnih i automatizovanih vozila [1–3]. Prisustvo komercijalnih vozila dodatno je značajno zbog njihovih drugačijih dimenzija i karakteristika kretanja.

Cilj rada je analiza uticaja različitog učešća automatizovanih putničkih automobila na kapacitet autoputa, uz posebno razmatranje uticaja konvencionalnih komercijalnih vozila.

Formiran je analitički model zasnovan na vremenskim intervalima sleđenja između različitih kombinacija uzastopnih vozila, a kapacitet je analiziran za različite nivoe penetracije automatizovanih putničkih automobila i različite strukture saobraćajnog toka.

2 AUTOMATIZOVANA VOZILA I UTICAJ NA KAPACITET AUTOPUTEVA

Automatizacija vozila obuhvata različite nivoe preuzimanja zadataka vožnje od strane sistema vozila. Prema klasifikaciji SAE J3016 razlikuje se šest nivoa automatizacije, od nivoa 0, bez automatizacije vožnje, do nivoa 5, koji predstavlja potpunu automatizaciju vožnje [4]. Nivoi 0–2 obuhvataju sisteme podrške vozaču, dok kod nivoa 3–5 sistem obavlja celokupan zadatak dinamičke vožnje u okviru odgovarajućih operativnih uslova. Karakteristike svakog od nivoa automatizacije su prikazane na Slici 1.



Slika 1: Nivoi automatizacije prema SAE J3016 (prilagođeno prema [4])

Sa stanovišta kapaciteta autoputa, jedan od najznačajnijih efekata automatizacije odnosi se na mogućnost ostvarivanja kraćih vremenskih intervala sleđenja. Sistemi adaptivnog tempomata (*Adaptive Cruise Control – ACC*) automatski prilagođavaju brzinu vozila radi održavanja željenog odstojanja od vozila ispred, dok kooperativni sistemi (*Cooperative Adaptive Cruise Control – CACC*) koriste komunikaciju između vozila (V2V), omogućavajući koordinisane reagovanje [5]. Povezana i kooperativna automatizovana vozila mogu ostvarivati kraće intervale sleđenja i formirati plotune vozila, čime se stvaraju uslovi za povećanje kapaciteta i stabilnije kretanje saobraćajnog toka.

Potencijalno povećanje kapaciteta zavisi od učešća automatizovanih vozila i njihovog raspoređivanja u saobraćajnom toku, što je posebno značajno u uslovima mešovitog toka. Ghiasi i ostali [1] razvili su analitički model u kojem se razlikuju vremenski intervali sleđenja u zavisnosti od tipa vodećeg i pratećeg vozila, pokazujući da na kapacitet utiču i učešće automatizovanih vozila i učestalost pojedinih kombinacija uzastopnih vozila. Li i ostali [2] takođe ukazuju na značaj karakteristika mešovitog toka za procenu efekata automatizacije na kapacitet.

Poseban značaj imaju vrednosti vremenskih intervala sleđenja između različitih tipova vozila. U prethodnim istraživanjima korišćen je širok raspon vrednosti, u zavisnosti od pretpostavljenih karakteristika sistema automatizovane vožnje [1]. Arnaout i Bowling [3] za CACC vozilo koje prati drugo CACC vozilo koriste interval od 0,5 s, dok se pri praćenju konvencionalnog putničkog ili teretnog vozila koristi interval od 0,8–1,0 s. Najveće

smanjenje intervala sleđenja stoga se može ostvariti između kompatibilnih kooperativnih vozila.

3 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Metodologija istraživanja zasniva se na analizi strukture saobraćajnog toka i razvoju analitičkog modela za procenu kapaciteta autoputa pri različitom učešću automatizovanih putničkih automobila. U nastavku su prikazani način formiranja strukture mešovito saobraćajnog toka, ulazni parametri i postupak proračuna kapaciteta.

3.1 Struktura saobraćajnog toka

Za definisanje realnih struktura saobraćajnog toka korišćeni su podaci sa automatskih brojača saobraćaja (ABS) na autoputevima u Republici Srbiji za 2025. godinu [6]. Analizirane su 42 deonice na kojima postoji ABS u 2025. godini. Na osnovu ovih podataka utvrđeno je prosečno učešće putničkih automobila od 83,7% i komercijalnih vozila od 16,3%. Kao dodatni scenario izdvojena je deonica Piroć istok - Dimitrovgrad (A4013/A4014), na kojoj je zabeleženo najveće učešće komercijalnih vozila u analiziranom uzorku, od 23,3% (Tabela 1).

Tabela 1: Analizirane strukture saobraćajnog toka [6]

Struktura toka	PA	BUS	LTV	STV	TTV	AV	Ukupno KV	Ukupno
Prosečna s.t.	83,7%	1,1%	1,9%	1,5%	1,0%	10,8%	16,3%	100%
A4013/A4014	76,7%	1,1%	1,1%	0,3%	0,2%	20,5%	23,3%	100%

U modelu su vozila grupisana u tri kategorije: konvencionalni putnički automobili (KPA), automatizovani putnički automobili (APA) i konvencionalna komercijalna vozila (KV). Pretpostavljeno je da se automatizacija odnosi isključivo na putničke automobile, dok komercijalna vozila ostaju konvencionalna. Analizirana su tri scenarija strukture toka: teorijski tok bez komercijalnih vozila, prosečna struktura sa 16,3% KV i struktura sa najvećim učešćem KV u analiziranom uzorku od 23,3%.

Ako je sa α označeno učešće putničkih automobila u ukupnom toku, a sa β učešće automatizovanih vozila u kategoriji putničkih automobila, učešća pojedinih kategorija određena su izrazima:

$$P_{KPA} = \alpha \cdot (1 - \beta) \quad (1)$$

$$P_{APA} = \alpha \cdot \beta \quad (2)$$

$$P_{KV} = 1 - \alpha \quad (3)$$

Na ovaj način promena vrednosti β menja odnos konvencionalnih i automatizovanih putničkih automobila, dok učešće komercijalnih vozila u okviru svakog analiziranog scenarija ostaje nepromenjeno. Vrednost β varira od 0 do 100% u koracima od po 10%.

3.2 Ulazni parametri modela

Proračun kapaciteta sproveden je za idealne saobraćajne i geometrijske uslove na autoputu. Pretpostavljena je deonica na ravničarskom terenu, sa standardnim širinama saobraćajnih traka i bočnim smetnjama, bez uticaja geometrijskih karakteristika puta na brzinu slobodnog toka. Na taj način omogućeno je izolovano sagledavanje uticaja strukture saobraćajnog toka i učešća automatizovanih vozila na kapacitet.

Za određivanje prosečnih dužina vozila korišćeni su podaci sa ABS 2001/2002 na deonici Stara Pazova - Indija, prikupljeni 13. i 15. marta 2026. godine. Uzorak je obuhvatio ukupno 83.018 vozila (Tabela 2).

Tabela 2: Prosečna dužina vozila sa ABS 2001/2002 za 13.3 i 15.3. 2026. god. [6]

Kategorija	PA	BUS	LTV	STV	TTV	AV	Ukupno
Dužina (m)	5,0	14,3	7,2	9,3	9,2	17,2	-
Uzorak (voz)	72.130	510	1.495	1.515	1.121	6.247	83.018

Prosečna dužina putničkog automobila iznosila je 5,0 m, dok je prosečna dužina komercijalnog vozila određena ponderisanjem prosečnih dužina pojedinih kategorija prema njihovom učešću u saobraćajnom toku.

Za sve kategorije vozila usvojena je jedinstvena brzina saobraćajnog toka pri kapacitetu od 86 km/h (23,89 m/s). Ova vrednost odgovara približnoj brzini pri kapacitetu za bazni kapacitet od 2.400 PA/h/traci i gustinu pri kapacitetu od 45 PA/mi/traci prema HCM-u 2016 (*Highway Capacity Manual*) [7].

Vremenski interval sleđenja između dva uzastopna vozila određen je kao zbir neto vremenskog intervala sleđenja i vremena potrebnog da dužina vodećeg vozila prođe kroz posmatrani presek:

$$t_h = g + \frac{L}{V_c} \quad (4)$$

gde je t_h vremenski interval sleđenja [s], g neto vremenski interval sleđenja [s], L dužina vodećeg vozila [m], a V_c brzina pri kapacitetu [m/s].

Za konvencionalne putničke automobile usvojen je bazni kapacitet od 2.400 voz/h/traci, odnosno t_h od 1,50 s, na osnovu čega je određen neto vremenski interval sleđenja $g_{KPA} = 1,29$ s. Za komercijalna vozila usvojen je ekvivalent putničkog automobila $E_T = 2,0$ [7], na osnovu čega je određen neto vremenski interval sleđenja od 2,39 s.

Za automatizovane putničke automobile usvojeni su neto vremenski intervali sleđenja karakteristični za kooperativne sisteme. Kada APA prati konvencionalno vozilo usvojena je vrednost od 1,0 s, dok je za slučaj APA–APA usvojen neto vremenski interval sleđenja od 0,5 s, u skladu sa vrednostima korišćenim u prethodnim istraživanjima CACC sistema [3].

3.3 Model za proračun kapaciteta

Proračun kapaciteta zasnovan je na prosečnom vremenskom intervalu sleđenja vozila u mešovitom saobraćajnom toku. Sličan princip primenjen je u analitičkim modelima u kojima se kapacitet određuje na osnovu različitih vremenskih intervala sleđenja između parova konvencionalnih i automatizovanih vozila. Ghiasi i ostali [1] razlikuju intervale u zavisnosti od tipa vodećeg i pratećeg vozila i pokazuju da kapacitet zavisi od njihove zastupljenosti i rasporeda u saobraćajnom toku.

U ovom istraživanju usvojena je pretpostavka slučajnog raspoređivanja vozila u saobraćajnom toku, odnosno da je verovatnoća pojave određenog para vozila jednaka proizvodu njihovih pojedinačnih učešća:

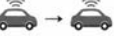
$$P_{ij} = P_i \cdot P_j \quad (5)$$

gde je i kategorija vodećeg, a j kategorija pratećeg vozila.

Za tri kategorije vozila (KPA, APA i KV) formirano je devet mogućih kombinacija uzastopnih vozila (Slika 2). Za svaku kombinaciju vremenski interval sleđenja određen je izrazom:

$$t_{h_{ij}} = g_{ij} + \frac{L_i}{V_c} \quad (6)$$

gde je g_{ij} neto vremenski interval sleđenja pratećeg vozila j u odnosu na vodeće vozilo i , dok je L_i dužina vodećeg vozila, a V_c brzina pri kapacitetu.

Vodeće vozilo i	Prateće vozilo j		
	KPA (konvencionalni putnički automobil)	APA (automatizovani putnički automobil)	KV (konvencionalno komercijalno vozilo)
KPA (konvencionalni putnički automobil)	 KPA – KPA $t_{h,11}$	 KPA – APA $t_{h,12}$	 KPA – KV $t_{h,13}$
APA (automatizovani putnički automobil)	 APA – KPA $t_{h,21}$	 APA – APA $t_{h,22}$	 APA – KV $t_{h,23}$
KV (konvencionalno komercijalno vozilo)	 KV – KPA $t_{h,31}$	 KV – APA $t_{h,32}$	 KV – KV $t_{h,33}$

Slika 2: Kombinacije uzastopnih vozila u saobraćajnom toku

Prosečan vremenski interval sleđenja u mešovitom toku određen je ponderisanjem intervala pojedinih kombinacija njihovim verovatnoćama:

$$\bar{t}_h = \sum_i \sum_j P_i P_j t_{h_{ij}} \quad [s] \quad (7)$$

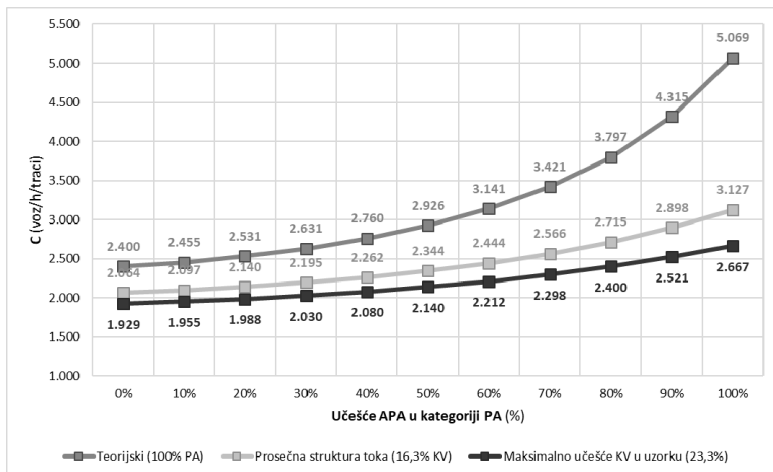
Kapacitet jedne saobraćajne trake zatim je određen izrazom:

$$C = \frac{3600}{\bar{t}_h} = \frac{3600}{\sum_i \sum_j P_i P_j t_{h_{ij}}} \quad [\text{voz/h/traci}] \quad (8)$$

4 REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu definisanog modela izvršen je proračun kapaciteta za tri analizirana scenarija strukture saobraćajnog toka, pri čemu je učešće automatizovanih putničkih automobila u kategoriji PA varirano od 0% do 100% u koracima od po 10%. Dobijeni rezultati prikazani su na Grafiku 1.

Rezultati pokazuju da povećanje učešća APA dovodi do povećanja kapaciteta u sva tri analizirana scenarija, ali se veličina ovog efekta značajno razlikuje u zavisnosti od učešća komercijalnih vozila. U teorijskom scenariju bez KV kapacitet se povećava sa 2.400 voz/h/traci pri 0% APA na 5.069 voz/h/traci pri 100% APA, odnosno za približno 111%. Pri prosečnom učešću KV od 16,3% kapacitet raste sa 2.064 na 3.127 voz/h/traci, odnosno za oko 52%, dok pri najvećem učešću KV u analiziranom uzorku od 23,3% raste sa 1.929 na 2.667 voz/h/traci, odnosno za oko 38%.



Grafik 1: Usporedna analiza rezultata po scenarijima

Dobijeni rezultati ukazuju da konvencionalna komercijalna vozila značajno ograničavaju potencijalno povećanje kapaciteta ostvareno automatizacijom putničkih automobila. I pri 100% učešću APA u kategoriji putničkih automobila, prisustvo konvencionalnih KV zadržava veće vremenske intervale sleđenja za deo kombinacija uzastopnih vozila, zbog čega se prosečan interval sleđenja ne može smanjiti na vrednost karakterističnu za homogen tok APA.

Povećanje kapaciteta nije linearno sa povećanjem učešća APA. Pri većim vrednostima penetracije raste verovatnoća pojave uzastopnih parova APA-APA, za koje je usvojen najmanji neto vremenski interval sleđenja od 0,5 s. Zbog toga povećanje kapaciteta postaje izraženije pri većem učešću APA, što je naročito uočljivo u teorijskom scenariju bez komercijalnih vozila.

Radi provere pouzdanosti modela, rezultati za bazno stanje bez automatizovanih vozila upoređeni su sa vrednostima dobijenim primenom softverskog paketa HCS. Za prosečno učešće KV od 16,3% dobijena je praktično ista vrednost kapaciteta od 2.064 voz/h/traci, dok je za scenario sa 23,3% KV modelom dobijeno 1.929 voz/h/traci, a primenom HCS-a približno 1.946 voz/h/traci. Relativno odstupanje manje od 1% ukazuje na zadovoljavajuću saglasnost pojednostavljenog analitičkog modela sa HCS postupkom u baznom stanju bez automatizovanih vozila.

Dobijene vrednosti, naročito u teorijskom scenariju pri visokom učešću APA, treba posmatrati u okviru pretpostavki primenjenog modela. One predstavljaju potencijalni kapacitet u idealizovanim uslovima definisanim usvojenim neto vremenskim intervalima sleđenja, a ne prognozu kapaciteta konkretnog autoputa u realnim uslovima.

5 ZAKLJUČAK

U radu je analiziran uticaj različitog učešća automatizovanih putničkih automobila na kapacitet autoputa, uz posebno razmatranje uticaja konvencionalnih komercijalnih vozila u mešovitom saobraćajnom toku. Rezultati pokazuju da povećanje učešća APA dovodi do povećanja kapaciteta u svim analiziranim scenarijima. Pri povećanju učešća APA od 0% do 100% u kategoriji putničkih automobila, kapacitet se u teorijskom toku bez KV povećava

za oko 111%, dok povećanje iznosi oko 52% pri prosečnom učešću KV od 16,3% i oko 38% pri najvećem učešću KV u analiziranom uzorku od 23,3%.

Dobijeni rezultati ukazuju da struktura saobraćajnog toka značajno utiče na potencijalne efekte automatizacije. Prisustvo konvencionalnih komercijalnih vozila ograničava povećanje kapaciteta ostvareno automatizacijom putničkih automobila, dok nelinearan rast kapaciteta pri povećanju učešća APA proizlazi iz sve veće verovatnoće pojave parova APA-APA, za koje je usvojen najmanji neto vremenski interval sleđenja.

Rezultate treba posmatrati u okviru pretpostavki primenjenog modela, koji podrazumeva idealne saobraćajne i geometrijske uslove, slučajno raspoređivanje vozila i unapred definisane neto vremenske intervale sleđenja, dok automatizacija komercijalnih vozila nije razmatrana. Dalja istraživanja trebalo bi usmeriti na uključivanje automatizovanih komercijalnih vozila, razmatranje različitih obrazaca raspoređivanja vozila i kalibraciju neto vremenskog intervala sleđenja na osnovu empirijskih podataka.

LITERATURA

- [1] Ghiasi, A., Hussain, O., Qian, Z. S., Li, X. (2017). A mixed traffic capacity analysis and lane management model for connected automated vehicles: A Markov chain method. *Transportation Research Part B: Methodological*, 106, 266–292.
- [2] Li, Y., Zheng, J., Qin, L., Li, H. (2025). Highway capacity of mixed traffic flow with autonomous vehicles: A review. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 671, 130653.
- [3] Arnaout, G. M., Bowling, S. (2014). A Progressive Deployment Strategy for Cooperative Adaptive Cruise Control to Improve Traffic Dynamics. *International Journal of Automation and Computing*, 11(1), 10–18.
- [4] SAE International. (2021). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, SAE J3016_202104.
- [5] Bu, F., Chan, C.-Y. (2012). Adaptive and Cooperative Cruise Control. In: Eskandarian, A. (Ed.), *Handbook of Intelligent Vehicles*. Springer.
- [6] „Putevi Srbije” d.o.o (2025), Brojanje saobraćaja na državnim putevima IA reda Republike Srbije 2025. god.
- [7] Transportation Research Board (2016). Highway Capacity Manual, Sixth Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis. Transportation Research Board, Washington, D.C.

SUMMARY**Impact of Automated Vehicle Penetration on Freeway Capacity**

Abstract: The development of automated vehicles may significantly affect transportation systems and the utilization of existing road infrastructure, particularly freeway capacity through reduced time headways. This paper analyzes the impact of automated passenger car penetration on freeway lane capacity under mixed traffic conditions. An analytical model based on time headways between different combinations of conventional and automated vehicles was developed. Three traffic composition scenarios were analyzed, with the share of automated passenger cars varying from 0% to 100%. The results show that capacity increases in all analyzed scenarios. In traffic flow without commercial vehicles, capacity increases by approximately 111%, compared with approximately 52% for an average commercial vehicle share of 16.3% and 38% for the highest observed share of 23.3%. The results indicate that conventional commercial vehicles significantly limit the potential capacity increase resulting from passenger car automation.

Key words: automated vehicles, freeway capacity, mixed traffic flow, automated vehicle penetration, time headway.

Uticaj tehničkih mera za smirivanje saobraćaja na prihvatanje intervala sleđenja na nesignalisanim raskrsnicama

Vladimir Ilić, Mašinski fakultet, Podgorica, vladimiri@ucg.ac.me

Vuk Bogdanović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, vuk@uns.ac.rs

Boško Matović, Mašinski fakultet, Podgorica, boskom@ucg.ac.me

Filip Perović, Mašinski fakultet, Podgorica, perovic.fp@gmail.com

Milan Andrijašević, Opština Bar, Bar, milan.1.andrijasevic@gmail.com

Rezime: Tehničke mere za smirivanje saobraćaja, poput izdignutih pešačkih prelaza, izdignutih platformi i veštačkih izbočina, tradicionalno se primenjuju sa ciljem smanjenja brzine kretanja vozila i unapređenja bezbednosti saobraćaja u zonama povećanog prisustva ranjivih učesnika u saobraćaju, kao što su zone škola i pešački prelazi. Iako je njihov bezbednosni efekat detaljno istraživan od strane mnogih autora, uticaj ovih mera na uslove odvijanja saobraćaja na nesignalisanim raskrsnicama i ponašanje vozača pri prihvatanju intervala još uvek nije dovoljno istražen. S obzirom na to da se postupci prilagođavanja modela za izračunavanje kapaciteta raskrsnica, uključujući i preporuke iz Highway Capacity Manual (HCM), često zasnivaju na lokalnim karakteristikama saobraćajnog sistema, kao što su ponašanje vozača, geometrija raskrsnice i saobraćajni uslovi, opravdano je očekivati da mere za smirivanje saobraćaja mogu uticati i na vrednosti parametara prihvatanja intervala sleđenja. Polazi se od pretpostavke da smanjenje brzine vozila u konfliktom toku usled prelaska preko mere za smirivanje saobraćaja može povećati subjektivni osećaj bezbednosti vozača koji izvode neki od manevara nižeg prioriteta, što može uticati na proces prihvatanja ponuđenog intervala sleđenja. Istraživanje je zasnovano na uporednoj analizi dve geometrijski slične nesignalisane raskrsnice, od kojih je na jednoj postavljen izdignuti pešački prelaz kao mera za smirivanje saobraćaja, dok na drugoj takva mera ne postoji. Rezultati istraživanja mogu doprineti boljem razumevanju uticaja tehničkih mera za smirivanje saobraćaja na ponašanje vozača pri prihvatanju intervala sleđenja i operativne karakteristike nesignalisanih raskrsnica.

Ključne reči nesignalisane (TWSC) raskrsnice, tehničke mere za smirivanje saobraćaja, intervali sleđenja, kapacitet raskrsnica

1 UVOD

Nesignalisane raskrsnice predstavljaju karakteristične tačke putne mreže na kojima vozači iz tokova nižeg prioriteta moraju proceniti da li je raspoloživi vremenski interval u konfliktom toku dovoljan za bezbedno izvođenje željenog manevara. Odluka o prihvatanju ili odbijanju raspoloživog intervala predstavlja osnovu teorije prihvatanja intervala, koja se široko primenjuje u analizi operativnih karakteristika nesignalisanih raskrsnica. Na ponašanje vozača pri donošenju ove odluke mogu uticati karakteristike konfliktnog vozila, geometrija raskrsnice, intenzitet saobraćaja, karakteristike vozila koje izvodi manevar, kao i individualne karakteristike vozača [1]. Zbog toga vrednosti

prihvaćenih intervala mogu značajno varirati između različitih vozača i saobraćajnih situacija.

Jedan od faktora koji može imati značajan uticaj na proces prihvatanja intervala jeste brzina vozila u konfliktnom toku. Rezultati prethodnih istraživanja nisu u potpunosti usaglašeni u pogledu smera ovog uticaja. Yan et al. [2] utvrdili su da su vozači pri većim brzinama vozila u glavnom toku prihvatili kraće intervale, dok Maurya et al. [3] navode da pri većim brzinama konfliktnog vozila vozači zahtevaju veće vremenske razmake za izvođenje manevra. Weinert [4], sa druge strane, nije potvrdila statistički značajan uticaj brzine vozila u glavnom toku na vrednosti parametara prihvatanja intervala. Ovakvi nalazi ukazuju na potrebu dodatnog ispitivanja veze između brzine konfliktnog vozila i ponašanja vozača u realnim saobraćajnim uslovima.

Brzina kretanja vozila predstavlja jedan od ključnih faktora bezbednosti saobraćaja, jer je povezana kako sa verovatnoćom nastanka saobraćajne nezgode, tako i sa težinom njenih posledica [5]. Iz tog razloga, mere za smirivanje saobraćaja, poput veštačkih izbočina i izdignutih platformi, primenjuju se prvenstveno sa ciljem smanjenja brzine vozila i unapređenja bezbednosti saobraćaja. Antić et al. [6] pokazali su da se sa povećanjem visine veštačkih izbočina povećava intenzitet smanjenja brzine vozila, dok su Yeo et al. [7] utvrdili da se njihov uticaj na brzinu može prostirati i na određeno rastojanje pre i nakon same mere. Iako su bezbednosni efekti ovih mera relativno dobro istraženi, njihov mogući uticaj na proces prihvatanja intervala na nesignalisanim raskrsnicama znatno je manje zastupljen u postojećoj literaturi.

Polazeći od navedenog, predmet ovog istraživanja je uporedna analiza prihvaćenih intervala na dve geometrijski slične nesignalisane raskrsnice, pri čemu je na jednoj postavljen izdignuti pešački prelaz kao mera za smirivanje saobraćaja, dok na drugoj takva mera ne postoji. Posebna pažnja usmerena je na analizu brzine konfliktnog vozila i njene povezanosti sa veličinom prihvaćenog intervala. Cilj istraživanja je da se ispita da li prisustvo mere za smirivanje saobraćaja može biti povezano sa promenama u brzini konfliktnog toka i ponašanju vozača pri prihvatanju intervala.

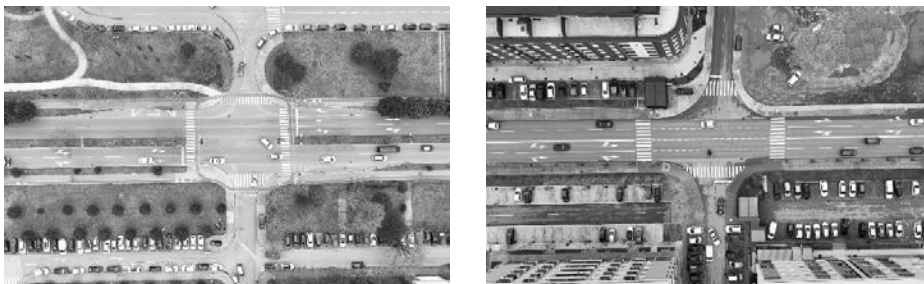
2 ISTRAŽIVANJE

2.1 Metodologija i cilj istraživanja

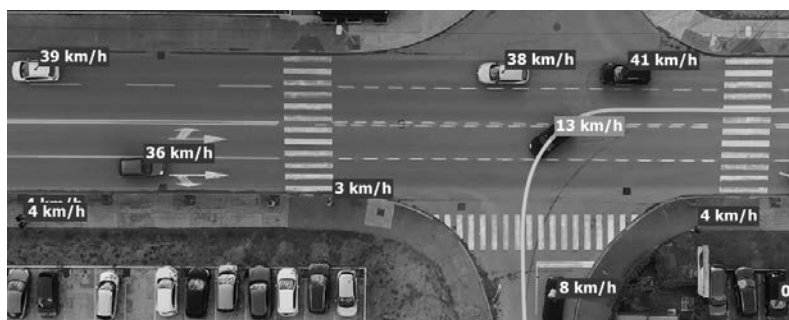
Istraživanje je sprovedeno na dve TWSC raskrsnice (eng. Two-Way Stop-Controlled) na teritoriji Podgorice, koje imaju slične geometrijske karakteristike i uporedive uslove odvijanja saobraćaja. Na jednoj od posmatranih raskrsnica postavljen je izdignuti pešački prelaz visine 4 cm (Raskrsnica A), dok na drugoj ne postoji nikakva mera ove vrste (Raskrsnica B) (Slika 1). Konkretno, posmatran je manevar levog skretanja sa glavnog prilaza, odnosno ponašanje vozača prilikom prihvatanja intervala u konfliktnom toku sa i bez prisustva izdignutog pešačkog prelaza (Slika 2).

Podaci potrebni za istraživanje prikupljeni su video-snimanjem saobraćaja iz vazduha pomoću bespilotne letelice DJI Air 3S, prikazane na Slici 3. Snimanje iz vazduha omogućilo je istovremeno praćenje kretanja vozila koje izvodi levi manevar i vozila u konfliktnom toku, kao i naknadno određivanje parametara potrebnih za analizu prihvatanja intervala. Ovakav način prikupljanja podataka omogućava analizu odvijanja saobraćaja u realnim uslovima, pri čemu prisustvo istraživača na terenu ne utiče na ponašanje vozača. Prednost

terenskog istraživanja dodatno se ogleda u tome što, za razliku od simulatora vožnje, omogućava posmatranje vozača u stvarnom saobraćajnom okruženju. Alexander et al. [8] ističu da simulator omogućava kontrolu eksperimentalnih faktora, ali ne može u potpunosti verno reprodukovati složenost realnog saobraćaja i procesa donošenja odluka vozača [8].



Slika 1. Posmatrane TWSC raskrsnice A i B



Slika 2. Prikaz posmatranog manevra

Video-zapisi obrađeni su u programskom paketu DataFromSky, čiji je rad zasnovan na primeni veštačke inteligencije i algoritama za automatsko prepoznavanje i praćenje učesnika u saobraćaju. Softver omogućava prepoznavanje različitih kategorija objekata, kao što su pešaci, biciklisti, putnička i teretna vozila, kao i praćenje njihovog kretanja kroz posmatranu saobraćajnu zonu. Za potrebe ovog istraživanja posmatrani su isključivo prihvaćeni intervali, pri čemu su za svako opažanje evidentirane vrednost prihvaćenog intervala, brzina konfliktnog vozila i vrsta intervala (lag ili gap). Prema Devarasetty et al. [9], gap predstavlja vremenski interval između prolaska jednog i nailaska narednog vozila u konfliktnom toku, dok lag predstavlja vreme između dolaska vozila koje izvodi manevar na raskrsnicu i nailaska prvog konfliktnog vozila.

Analizom je obuhvaćeno **27 prihvaćenih intervala na raskrsnici sa izdignutim pešačkim prelazom i 27 prihvaćenih intervala na raskrsnici bez primenjene mere za smirivanje saobraćaja**, odnosno ukupno 54 opažanja. Cilj istraživanja je da se uporednom analizom utvrdi da li prisustvo tehničke mere za smirivanje saobraćaja može biti povezano sa razlikama u brzini konfliktnog vozila i veličini prihvaćenih intervala pri izvođenju levog skretanja sa glavnog prilaza, kao i da se ispita postojanje povezanosti između ova dva parametra.



Slika 3. Korišćena bespilotna letelica DJI Air 3S

Izvor: <https://www.dji.com/global/air-3s>

3 REZULTATI

Osnovna statistička obeležja prihvaćenih intervala prikazana su u Tabeli 1. Na Raskrsnici A srednja vrednost prihvaćenog intervala iznosila je 3,16 s, dok je na Raskrsnici B iznosila 3,98 s. Sličan odnos uočava se i kod medijane, koja iznosi 3,10 s na Raskrsnici A i 3,80 s na Raskrsnici B. Dobijeni rezultati ukazuju da su na Raskrsnici A vozači u proseku prihvatili kraće intervale nego na Raskrsnici B. Takođe, manja vrednost standardne devijacije na Raskrsnici A ukazuje na nešto manju varijabilnost prihvaćenih intervala.

Tabela 1. Osnovna statistička obeležja prihvaćenih intervala

Raskrsnica	Srednja vrednost [s]	Medijana [s]	Minimum [s]	Maksimum [s]	Std. dev. [s]
A	3,16	3,10	1,60	5,90	0,77
B	3,98	3,80	2,30	5,80	1,02

Osnovna statistička obeležja brzine konfliktnog vozila prikazana su u Tabeli 2. Srednja vrednost brzine na Raskrsnici A iznosila je 28,19 km/h, dok je na Raskrsnici B iznosila 38,15 km/h. Sličan odnos uočava se i kod medijane, koja iznosi 30 km/h na Raskrsnici A i 35 km/h na Raskrsnici B. Dobijeni rezultati ukazuju na niže brzine konfliktnog vozila na raskrsnici sa izdignutim pešačkim prelazom. Standardne devijacije su gotovo jednake na obe lokacije, što ukazuje na sličan stepen varijabilnosti brzina u posmatranim uzorcima.

Tabela 2. Osnovna statistička obeležja brzine konfliktnog vozila

Raskrsnica	Srednja vrednost [km/h]	Medijana [km/h]	Minimum [km/h]	Maksimum [km/h]	Std. dev. [km/h]
A	28,19	30,00	9,00	47,00	10,51
B	38,15	35,00	21,00	63,00	10,06

Rezultati Mann–Whitney U testa pokazali su da, za definisani prag statističke značajnosti od 0,05, između dve posmatrane raskrsnice postoji statistički značajna razlika kako u vrednostima prihvaćenih intervala ($p = 0,004$), tako i u brzinama konfliktnog vozila ($p = 0,002$), pri čemu su na Raskrsnici A zabeležene niže vrednosti oba posmatrana parametra.

Spearmanovom korelacionom analizom nije utvrđena statistički značajna povezanost između brzine konfliktnog vozila i vrednosti prihvaćenog intervala ni na jednoj od posmatranih raskrsnica. Na Raskrsnici A utvrđena je veoma slaba negativna korelacija ($p =$

–0,160), dok je na Raskrsnici B povezanost bila praktično zanemarljiva ($p = 0,013$). Posmatrano prema vrsti intervala, na obe raskrsnice evidentirano je po 16 lag i 11 gap intervala, pri čemu su srednje vrednosti prihvaćenih intervala na Raskrsnici A iznosile 3,28 s za lag i 2,97 s za gap intervale, dok su na Raskrsnici B iznosile 3,84 s i 4,18 s, respektivno. Na Raskrsnici A prosečna vrednost prihvaćenih lag intervala bila je nešto veća od prosečne vrednosti gap intervala, dok je na Raskrsnici B zabeležen suprotan odnos. Zbog ograničenog obima uzorka, ove razlike mogu se posmatrati samo deskriptivno.

4 ZAKLJUČAK

Sprovedeno istraživanje imalo je za cilj da se ispita mogući uticaj tehničke mere za smirivanje saobraćaja na prihvatanje intervala pri levom skretanju sa glavnog prilaza na TWSC raskrsnicama. Uporednom analizom dve geometrijski slične raskrsnice — Raskrsnice A, na kojoj je izdignuti pešački prelaz postavljen kao mera za smirivanje saobraćaja, i Raskrsnice B, na kojoj takva mera ne postoji, utvrđeno je da su na Raskrsnici A ostvarene niže brzine konfliktnog vozila i kraće vrednosti prihvaćenih intervala. Srednja vrednost brzine konfliktnog vozila na Raskrsnici A iznosila je 28,19 km/h, naspram 38,15 km/h na Raskrsnici B, dok su srednje vrednosti prihvaćenih intervala iznosile 3,16 s i 3,98 s, respektivno. Neparametarskim Mann–Whitney U testom potvrđeno je da su razlike između dve raskrsnice statistički značajne za oba analizirana parametra.

Sa druge strane, Spearmanovom korelacionom analizom nije utvrđena statistički značajna povezanost između brzine konfliktnog vozila i vrednosti prihvaćenog intervala unutar pojedinačnih raskrsnica. Dobijeni rezultati stoga ukazuju da se posmatrane raskrsnice razlikuju kako u pogledu brzina konfliktnog toka, tako i u pogledu veličine prihvaćenih intervala, ali na osnovu raspoloživih podataka nije moguće utvrditi direktnu zavisnost ova dva parametra.

Buduća istraživanja trebalo bi proširiti na veći broj raskrsnica i veći obim uzorka, uz uključivanje odbijenih intervala, čime bi se omogućila detaljnija analiza procesa prihvatanja intervala i pouzdanija procena uticaja mera za smirivanje saobraćaja na operativne karakteristike nesignalisanih raskrsnica. Posebnu pažnju u budućim istraživanjima trebalo bi usmeriti na ispitivanje uticaja ovih mera na kapacitet sporednih manevara na TWSC raskrsnicama, imajući u vidu da su parametri prihvatanja intervala jedan od bitnih elemenata proračuna njihovog kapaciteta.

LITERATURA

- [1] Bhatt, K., Gore, N., & Shah, J. (2022). Critical gap estimation and its implication on capacity and safety of high-speed un-signalised T-intersection under heterogeneous traffic conditions. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*, 24(4), D215–D228.
- [2] Yan, X., Radwan, E., & Guo, D. (2007). Effects of major-road vehicle speed and driver age and gender on left-turn gap acceptance. *Accident Analysis & Prevention*, 39(4), 843–852.
- [3] Murya, A. K., Amin, H. J., & Kumar, A. (2016). Estimation of critical gap for through movement at four leg uncontrolled intersection. *Transportation Research Procedia*, 17, 203–212.
- [4] Weinert, A. (2000). Estimation of critical gaps and follow-up times at rural unsignalized intersections in Germany. In *Transportation Research Circular E-C018: Fourth International Symposium on Highway Capacity* (pp. 409–421). Transportation Research Board.
- [5] Aarts, L., & van Schagen, I. (2006). Driving speed and the risk of road crashes: A review. *Accident Analysis & Prevention*, 38(2), 215–224.
- [6] Antić, B., Pešić, D., Vujanić, M., & Lipovac, K. (2013). The influence of speed bumps heights to

- the decrease of the vehicle speed – Belgrade experience. *Safety Science*, 57, 303–312.
- [7] Yeo, J., Lee, J., Cho, J., Kim, D.-K., & Jang, K. (2020). Effects of speed humps on vehicle speed and pedestrian crashes in South Korea. *Journal of Safety Research*, 75, 78–86.
- [8] Alexander, J., Barham, P., & Black, I. (2002). Factors influencing the probability of an incident at a junction: Results from an interactive driving simulator. *Accident Analysis & Prevention*, 34(6), 779–792.
- [9] Devarasetty, P. C., Zhang, Y., & Fitzpatrick, K. (2012). Differentiating between left-turn gap and lag acceptance at unsignalized intersections as a function of the site characteristics. *Journal of Transportation Engineering*, 138(5), 580–588.

SUMMARY

Impact of Traffic Calming Measures on Gap Acceptance at Unsignalized Intersections

Abstract: Traffic calming measures, such as raised pedestrian crossings, raised platforms, and speed humps, are traditionally implemented with the aim of reducing vehicle speeds and improving road safety in areas with a high presence of vulnerable road users, such as school zones and pedestrian crossings. Although their safety effects have been extensively investigated by numerous authors, the influence of these measures on traffic operations at unsignalized intersections and on driver behaviour during gap acceptance has not yet been sufficiently explored. Considering that procedures for adapting intersection capacity models, including recommendations from the Highway Capacity Manual (HCM), are often based on local characteristics of the traffic system, such as driver behaviour, intersection geometry, and traffic conditions, it is reasonable to expect that traffic calming measures may also affect the values of gap-acceptance parameters. It is assumed that reducing the speed of vehicles in the conflicting traffic stream when passing over a traffic calming measure may increase the subjective feeling of safety of drivers performing lower-priority manoeuvres, which may influence the process of accepting an available gap. The research is based on a comparative analysis of two geometrically similar unsignalized intersections, one of which has a raised pedestrian crossing installed as a traffic calming measure, while the other has no such measure. The research results may contribute to a better understanding of the influence of traffic calming measures on driver behaviour during gap acceptance and on the operational characteristics of unsignalized intersections.

Key words: unsignalized (TWSC) intersections, traffic calming measures, gap acceptance, intersection capacity

Uticaj uzdužnog nagiba tunela na kretanje vozila i upravljanje sporim vozilima⁴

Ivana Andrijanić, "Putevi Srbije" d.o.o. ivana.andrijanic@putevi-srbije.rs

Ivana Kuljanin, "Putevi Srbije" d.o.o. ivana.kuljanin@putevi-srbije.rs

Ivana Ilić, "Putevi Srbije" d.o.o. ivana.ilic@putevi-srbije.rs

Katarina Komnenović, "Putevi Srbije" d.o.o. katarina.komnenovic@putevi-srbije.rs

Rezime: Uzdužni nagib u tunelima predstavlja značajan faktor koji utiče na kinematičko ponašanje vozila i bezbednost saobraćaja. Veći nagibi dovode do usporavanja teških teretnih vozila, autobusa i drugih vozila sa slabijim ubrzanjem, što povećava brzinske razlike, rizik od nestabilnosti kretanja i verovatnoću zastoja i nezgoda. Rad analizira uticaj različitih vrednosti nagiba na promenu brzine vozila i mera za upravljanje saobraćajnim tokovima. Poseban akcenat dat je detekciji i upravljanju sporim vozilima, koja na nagibima predstavljaju kritičan element. Savremeni tuneli koriste video-nadzor, radarske i LIDAR senzore za rano prepoznavanje sporih vozila pre i tokom ulaska u tunel. Nakon detekcije, sistemi upravljanja saobraćajem aktiviraju dinamičku signalizaciju, prilagođavaju ograničenja brzine i, po potrebi, privremeno regulišu ulazak vozila radi formiranja bezbednog razmaka. Na osnovu rezultata predložene su mere za unapređenje bezbednosti i protočnosti, među kojima se ističu: obavezno kretanje teških i sporih vozila voznom trakom i njihovo usmeravanje u posebnu traku kako bi se smanjile brzinske razlike i povećala stabilnost saobraćajnog toka. Preporučene mere doprinose standardizaciji režima kretanja i bezbednijem odvijanju saobraćaja u tunelima sa izraženim uzdužnim nagibom.

Ključne reči: uzdužni nagib, tuneli, brzina vozila, spora vozila, teška teretna vozila, detekcija, upravljanje

1 UVOD

Protok saobraćaja na mreži autoputeva Republike Srbije kontinuirano raste, uz sve veće učešće teretnih vozila i složenije zahteve u pogledu upravljanja saobraćajnim tokovima. Poseban izazov predstavljaju tuneli i deonice sa izraženim uzdužnim nagibima, gde i manji poremećaji u saobraćajnom toku mogu značajno uticati na bezbednost i protočnost.

Tuneli predstavljaju posebno osetljive elemente putne infrastrukture, jer su mogućnosti reagovanja i oporavka saobraćajnog toka ograničene. Pojava sporih ili zaustavljenih vozila može dovesti do formiranja kolona, povećanja razlika u brzinama i nastanka dodatnih bezbednosnih rizika. Pod događajem „Sporo vozilo“ se podrazumeva detekcija vozila koje se kreće brzinom manjom od 40 km/h. Zaustavljeno vozilo detektuje se video-analitikom kada vozilo miruje 3–5 sekundi u detekcijskom polju kamere. [1] [2]

⁴ CC BY-NC-ND licenca

Analiza podataka sa deonice državnog puta IA reda broj 2 pokazala je da događaji tipa „Sporo vozilo“ predstavljaju jedan od najzastupljenijih tipova detektovanih incidenata, odnosno poremećaja saobraćajnog toka u tunelima Munjino Brdo i Laz. Cilj rada je analiza karakteristika saobraćajnog toka i registrovanih događaja, sa posebnim osvrtom na uticaj intenziteta i strukture saobraćaja, brzina i geometrijskih karakteristika trase. [5]

Na osnovu rezultata analize razmatraju se mogućnosti unapređenja sistema za ranu detekciju i upravljanje incidentnim situacijama, sa ciljem povećanja bezbednosti, smanjenja rizika od sekundarnih događaja i očuvanja protočnosti saobraćaja u tunnelskim uslovima na ostalim tunelima, na mreži državnih puteva IA reda, na kojima sistemi nisu implementirani.

2 ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja je deonica državnog puta IA reda broj 2, na sektoru petlja Pakovraće–petlja Prilipac, sa tunelima Munjino Brdo i Laz. Oba objekta su projektovana kao dvocevni tuneli sa odvojenim smerovima saobraćaja i ograničenjem brzine od 80 km/h. Tunnel Munjino Brdo obuhvata cevi dužine 2.740 m (smer ka Požegi) i 2.756 m (smer ka Beogradu), dok tunnel Laz čine cevi dužine 2.670 m (smer ka Požegi) i 2.845 m (smer ka Beogradu). Širina kolovoza u tunelima je 7.70 m. Visina saobraćajnog profila je $H=4.75$ m. Sa obe strane kolovoza u oba tunela su projektovane službene pešačke staze širine od 1.19–1.28 m i one su uzdignute iznad kolovoza za $\Delta h = 7$ cm. Ispod njih je predviđen prostor za smeštaj različitih elektroenergetskih i telekomunikacionih instalacija. [3] [4]

Podužni pad tunela Munjino Brdo je max 2.5%, dok je poprečni pad tunela max 3.5%. Niveleta leve tunelske cevi (smer ka Beogradu) je u usponu od 2.5% od ulaznog portala do dužine od 2025.48 m, a zatim je u padu od 1.0% prema izlaznom portalu (na dužini od 730.27 m). Niveleta desne tunelske cevi (smer ka Požegi) je u usponu od 2.5% od ulaznog portala do dužine od 2020.48 m, a zatim je u padu od 1.0% prema izlaznom portalu (na dužini od 719.66 m). [3] [4]

Niveleta leve tunelske cevi tunela Laz (smer ka Beogradu) je u vertikalnoj konveksnoj krivini, radijusa $R_v=8000.00$ m, sa prelomom na izlazu iz tunelske cevi. Niveleta kolovoza je u padu od 3.0% ka ulaznom portalu. Niveleta desne tunelske cevi (smer ka Požegi) je u vertikalnoj konveksnoj krivini, radijusa $R_v=8000.00$ m, sa prelomom na izlazu tunelske cevi. Niveleta kolovoza je u padu od 3.0% ka ulaznom portalu. [3] [4]

Praćenje saobraćajnih tokova vrši se automatskim brojačima saobraćaja, dok su tuneli opremljeni sistemima video-nadzora i automatske detekcije incidenata (AID), promenljivom saobraćajnom signalizacijom (VMS), ventilacijom i senzorima za praćenje koncentracije CO i NOx. Raspoloživi podaci omogućavaju analizu saobraćajnih tokova i pojave događaja „Sporo vozilo“ i „Zaustavljeno vozilo“. [5]

Tabela 1: Broj sporih/zaustavljenih vozila prema periodu dana i smeru kretanja

Tunel	Smer	06h–22h	22h–06h	Ukupan broj sporih/zaustavljenih vozila
Tunel Laz	Ka Požegi	589	66	655
Tunel Laz	Ka Beogradu	26	10	36
Tunel Munjino Brdo	Ka Požegi	247	55	302
Tunel Munjino Brdo	Ka Beogradu	71	11	82

Tabela 2: Osnovni saobraćajni pokazatelji u tunelima Laz i Munjino Brdo

Parametar	1438 Tunel Laz (CA - PO)	1439 Tunel Laz (PO - CA)	1440 Tunel M. Brdo (CA-PO)	1441 Tunel M. Brdo (PO- CA)
Broj događaja „Sporo vozilo“/„Zaustavljeno vozilo“	655	36	302	82
PGDS	5011	5293	5327	4643
Udeo teretnih vozila (%)	4.61%	6.44%	7.13%	6.94%
Srednja brzina (km/h) (Ograničenje brzine (km/h))	97 (80)	102 (80)	82 (80)	92 (80)
Maksimalni satni protok	14/02/2026	24/08/2025	03/05/2026	31/08/2025

2.1 Analiza saobraćajnih tokova i događaja „Sporo vozilo“ / „Zaustavljeno vozilo“

Analiza je izvršena u odnosu na PGDS, udeo teretnih vozila, srednju brzinu, ograničenje brzine i vremensku raspodelu događaja.

Tabela 3: PGDS i struktura saobraćajnog toka u tunelima Laz i Munjino Brdo

Tunel / smer	PA	BUS	LT	ST	TT	AV	UKUPNO
1438 – Tunel Laz (CA–PO)	4751	30	78	41	24	88	5011
1439 – Tunel Laz (PO–CA)	4913	39	94	63	37	147	5293
1440 – Tunel M. Brdo (CA–PO)	4909	37	100	61	44	175	5327
1441 – Tunel M. Brdo (PO–CA)	4289	33	94	58	37	133	4643

Tabela 4: Podaci iz baze događaja

Tunel	Smer	Spora/Zaustavljena vozila 06–22	Spora/Zaustavljena vozila 06–22	Ukupno	PGDS	Udeo TV	Srednja brzina
Laz	Ka Požegi	589	66	655	5.011	4.61 %	97 km/h
Laz	Ka Beogradu	26	10	36	5.293	6.44 %	102 km/h
Munjino Brdo	Ka Požegi	247	55	302	5.327	7.13 %	82 km/h
Munjino Brdo	Ka Beogradu	71	11	82	4.643	6.94 %	92 km/h

Najveći broj događaja registrovan je tokom dnevnog perioda (06:00–22:00 h). U tunelu Laz evidentirano je 655 događaja u smeru ka Požegi i 36 u smeru ka Beogradu, dok je u tunelu Munjino Brdo registrovano 302, odnosno 82 događaja.

Rezultati pokazuju da učestalost događaja nije direktno proporcionalna intenzitetu saobraćaja. Iako su PGDS vrednosti po smerovima međusobno slične, broj događaja značajno varira. Sličan zaključak proizlazi i iz analize udela teretnih vozila, koji samostalno ne objašnjava razlike u učestalosti događaja.

Analiza srednjih brzina pokazuje vrednosti od 82 do 102 km/h, pri čemu je ograničenje brzine 80 km/h. Najveći broj događaja registrovan je u smerovima ka Požegi, posebno u tunelu Munjino Brdo, gde srednja brzina iznosi 82 km/h. To ukazuje na značaj karakteristika smera, uzdužnog profila i geometrije trase za pojavu sporih i zaustavljenih vozila. U oba analizirana tunela smerovi ka Požegi izdvajaju se kao kritičniji, sa značajno većim brojem registrovanih sporih vozila u odnosu na smerove ka Beogradu.

Pojava sporih vozila dovodi do povećanja razlika u brzinama između učesnika u saobraćaju, formiranja kolona i povećanja rizika od konfliktnih situacija i sekundarnih saobraćajnih nezgoda. Kako se geometrijski elementi trase, uključujući uzdužne nagibe, ne mogu menjati u fazi eksploatacije, unapređenje bezbednosti potrebno je zasnivati na pravovremenoj detekciji incidenata, promenljivoj saobraćajnoj signalizaciji i efikasnom operativnom upravljanju saobraćajem.

Dobijeni rezultati potvrđuju značaj primene inteligentnih transportnih sistema (ITS) u tunelima, posebno za rano prepoznavanje sporih i zaustavljenih vozila i pravovremeno reagovanje u cilju smanjenja rizika i očuvanja protočnosti saobraćaja.

2.2 Identifikacija kritičnih situacija

U tunelima Laz i Munjino Brdo, između ostalih, implementirani su sistem automatske detekcije saobraćajnih incidenata i sistem kontrole kvaliteta vazduha.

Sporo vozilo detektuje se video-analitikom pri brzini manjoj od 40 km/h, nakon čega se, u zavisnosti od situacije, putem Centralnog sistema za nadzor i upravljanje aktivira odgovarajući saobraćajni scenario upravljanja i smanjuje dozvoljena brzina na 40 ili 60 km/h. Posledice mogu biti formiranje kolone, smanjenje brzine i povećanje emisije NOx. [1] [2]

Zaustavljeno vozilo detektuje se kada vozilo miruje 3–5 sekundi u detekcijskom polju kamere. Nakon validacije alarma, sistem smanjuje dozvoljenu brzinu na 60 km/h, odnosno zatvara tunel u slučaju blokade izlaza. Posledice su povećan rizik od naletanja, zatvaranje saobraćajne trake i usporavanje saobraćaja. [1] [2]

Povećana koncentracija NOx prati se pomoću senzora za kontrolu kvaliteta vazduha i vidljivosti, pri čemu se ventilacioni sistem automatski aktivira na definisanim pragovima vrednosti NOx od 7,5; 37,5 i 50 ppm. Učestalo aktiviranje ventilacije može uticati na pouzdanost rada sistema, posebno tokom dvosmernog režima saobraćaja. [1] [2]

2.3 Analiza rada implementiranih ITS sistema

Sporo, odnosno zaustavljeno vozilo u tunelima Laz i Munjino Brdo detektuje sistem automatske detekcije incidenata (AID). Nakon detekcije, na Centralnom sistemu za nadzor i upravljanje saobraćajem (CSNU) generiše se alarm, koji dalje podleže proverbi i validaciji od strane operatera u Tunelskom operativnom centru. S obzirom na to da sistem automatske detekcije incidenata generiše približno 5% lažnih alarma, neophodna je provera njihove pouzdanosti uvidom u sistem video-nadzora ili proverom podataka dobijenih sa brojača saobraćaja, kao što su brzina i kategorija vozila. Nakon potvrde pouzdanosti alarma, operater, u zavisnosti od tipa vanrednog događaja, aktivira

odgovarajući predefinisani algoritam upravljanja saobraćajem. Aktiviranjem algoritma, putem promenljive saobraćajne signalizacije vrši se izmena režima saobraćaja u tunelu i njegovoj uticajnoj zoni, uz adekvatno ograničenje brzine i blagovremeno upozoravanje i informisanje učesnika u saobraćaju. [1] [2]

Primena implementiranih inteligentnih transportnih sistema u tunelima Laz i Munjino Brdo pokazala se od velikog značaja, jer posledice kao što su sekundarne saobraćajne nezgode nisu zabeležene, dok je pojava formiranja kolone vozila svedena na minimum. Takođe je značajno istaći veoma visoku pouzdanost Centralnog sistema za nadzor i upravljanje saobraćajem, kao i samog sistema za automatsku detekciju incidenata, s obzirom da je pojava lažnih alarma beležena samo u prvim mesecima eksploatacije, dok se sistem prilagođavao na okruženje i dok su vršena dodatna podešavanja.

3 ZAKLJUČAK

Analiza događaja „Sporo vozilo“ i „Zaustavljeno vozilo“ pokazala je značaj primene integrisanih ITS sistema za nadzor i upravljanje saobraćajem u tunelima Laz i Munjino Brdo. Primenjene mere za unapređenje bezbednosti su sistem ranog upozorenja za spora i zaustavljena vozila, dinamička signalizacija sa odgovarajućim upozorenjima, automatsko upravljanje sistemom ventilacije i integracija podataka sa kamera, brojača saobraćaja i senzora za detekciju NOx. Primena ovih sistema omogućava pravovremeno informisanje vozača, smanjenje brzinskih razlika i efikasnije upravljanje incidentnim situacijama. Zbog svoje visoke pouzdanosti, posebno se značajnim pokazao sistem ranog upozorenja zasnovan na video-detekciji, automatskoj obradi slike, koji omogućava pravovremenu automatsku detekciju sporih ili zaustavljenih vozila i adekvatnu i efikasnu reakciju operatera iz upravljačkog centra aktiviranjem promenljive saobraćajne signalizacije (VMS).

S obzirom na specifične građevinske i saobraćajne karakteristike tunela Laz i Munjino Brdo, pre svega velike dužine i izražene uzdužne nagibe, primena navedenih sistema predstavlja posebno značajnu meru za povećanje bezbednosti i pouzdanosti odvijanja saobraćaja. Dobijeni rezultati ukazuju na opravdanost primene istog koncepta i na drugim tunelima na mreži državnih puteva Republike Srbije, posebno na tunelima sa izraženim uzdužnim nagibima, kao što su Šarani, Bancarevo, Manajle, Železnik, Straževica i Predejane.

Dalji razvoj sistema treba usmeriti ka njihovoj međusobnoj integraciji i formiranju jedinstvenog sistema za rano prepoznavanje incidenata, automatsko reagovanje i operativno upravljanje incidentnim situacijama, čime bi se dodatno unapredili bezbednost saobraćaja i efikasnost upravljanja tunelima.

LITERATURA

- [1] KBV DATACOM d.o.o. jul 2025. 8/2.1 PZI – Kontrolno operativni planovi – tunel Munjino Brdo. Beograd.
- [2] KBV DATACOM d.o.o. jul 2025. 8/2.1 PZI – Kontrolno operativni planovi – tunel Laz. Beograd.
- [3] Saobraćajni institut CIP d.o.o. 2020. 2/1.3 PZI – Projekat tunela Laz. Beograd.
- [4] Saobraćajni institut CIP d.o.o. 2020. 2/1.3 PZI – Projekat tunela Munjino Brdo. Beograd.
- [5] Putevi Srbije d.o.o. Odeljenje za nadzor i upravljanje saobraćajem – FM.850.420.005. (2025) Dnevnik događaja Munjino Brdo i Laz.

The Impact of Tunnel Longitudinal Gradient on Vehicle Movement and Slow-Vehicle Management

Abstract: The longitudinal gradient in tunnels represents a significant factor affecting the kinematic behaviour of vehicles and traffic safety. Steeper gradients lead to speed reductions of heavy goods vehicles, buses, and other vehicles with lower acceleration capabilities, thereby increasing speed differentials, the risk of unstable vehicle movement, and the likelihood of congestion and traffic accidents. This paper analyses the influence of different gradient values on changes in vehicle speed and measures for traffic flow management. Particular emphasis is placed on the detection and management of slow-moving vehicles, which represent a critical element on steep gradients. Modern tunnels use video surveillance, radar, and LiDAR sensors for the early detection of slow-moving vehicles before and during tunnel entry. Following detection, traffic management systems activate dynamic traffic signs, adjust speed limits, and, where necessary, temporarily regulate vehicle entry in order to maintain safe spacing between vehicles. Based on the results, measures are proposed to improve traffic safety and traffic flow efficiency, including mandatory use of the driving lane by heavy and slow-moving vehicles and their routing to a dedicated lane in order to reduce speed differentials and improve the stability of the traffic flow. The proposed measures contribute to the standardisation of traffic operating regimes and to safer traffic conditions in tunnels with pronounced longitudinal gradients.

Keywords: longitudinal gradient, tunnels, vehicle speed, slow-moving vehicles, heavy goods vehicles, detection, traffic management

Analiza efekata provere bezbednosti saobraćaja na državnim putevima Republike Srbije

Emir Smailović, Saobraćajni fakultet, Beograd, e.smailovic@sf.bg.ac.rs

Boris Antić, Saobraćajni fakultet, Beograd, b.antic.bg.ac.rs

Dalibor Pešić, Saobraćajni fakultet, Beograd, d.pesic@sf.bg.ac.rs

Neda Kočanović, Saobraćajni fakultet, Beograd, kocanovicneda@gmail.com

Rezime: Put, kao jedan od faktora bezbednosti saobraćaja, ima značajan uticaj na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. Prema podacima PIARC-a, put i njegovo okruženje učestvuju u nastanku oko 34% saobraćajnih nezgoda, što ukazuje na potrebu za sistematičnim analizama infrastrukturnih nedostataka i njihovog uticaja na rizik. Predmet ovog istraživanja su državni putevi, na kojima se događa najveći broj saobraćajnih nezgoda. U radu je izvršena sistematizacija izveštaja o Proveri bezbednosti saobraćaja na državnim putevima Republike Srbije nekoliko kompanija. Cilj rada je sistematizacija identifikovanih problema, predloženih rešenja i troškova sanacije, kao i procena njihove efikasnosti. Rezultati pružaju osnovu za prioritizaciju intervencija radi smanjenja rizika i ekonomski efikasnijeg upravljanja bezbednošću puteva.

Ključne reči: faktor put, provera bezbednosti saobraćaja, državni putevi, infrastrukturni nedostaci, predložena rešenja, trošak sanacije

1 UVOD

Prema podacima Agencije za bezbednost saobraćaja (ABS, 2026) u Republici Srbiji, tokom 2025. godine dogodilo se 33.325 saobraćajnih nezgoda, u kojima je poginulo 488 lica, 3.763 je teško povređeno, a 15.619 lakše povređeno, dok je evidentirano i preko 19.000 nezgoda sa materijalnom štetom. Iako je broj nezgoda sa smrtnim ishodom manji za oko 10% u odnosu na 2022. godinu, stopa smrtnosti u Srbiji i dalje je visoka – 7,4 poginulih na 100.000 stanovnika, što je iznad proseka Evropske unije (4,4) (ITF/OECD, 2024).

Pokazatelji bezbednosti imaju značaj tek kada se posmatraju u kontekstu uslova u kojima se nezgode dešavaju. Posebno mesto ima putna infrastruktura, koja utiče na nivo rizika i težinu posledica. Prema podacima WHO (2023), skoro 80% puteva u svetu ne ispunjava ni minimalnu trozvezdanu ocenu bezbednosti za pešake, dok svega 0,2% puteva ima biciklističke trake. PIARC (2003) procenjuje da put i njegovo okruženje učestvuju u nastanku oko 34% saobraćajnih nezgoda, dok analiza ABS-a (2022) pokazuje da je put kao pojedinačan faktor uticao na nastanak svega 3,8% nezgoda.

S obzirom na značaj puta za bezbednost saobraćaja, istraživanje uticaja puta i njegovih karakteristika poslednjih nekoliko godina imaju sve veći značaj u oblasti bezbednosti saobraćaja. U tom kontekstu razvijen je niz metoda i alata koji omogućavaju sistematično sagledavanje i unapređenje bezbednosti tokom životnog ciklusa puta – od faze planiranja do eksploatacije. Provera bezbednosti saobraćaja (PBS) predstavlja jedan od ključnih preventivnih alata za unapređenje bezbednosti putne infrastrukture. Zasnovana je na

integraciji različitih naučnih oblasti i metodološkom pristupu sistematizacije postojećih uslova.

U međunarodnim okvirima, značaj PBS je posebno naglašen u Direktivi 2008/96/EC Evropske unije, koja propisuje obaveznu primenu provere i revije bezbednosti na mreži transevropskih puteva. Pored toga, PIARC (2003, 2012), u svojim smernicama za Road Safety Inspection, definiše RSI kao „sistematsku, na terenu sprovedenu proveru postojećeg puta od strane stručnjaka, sa ciljem identifikacije opasnosti i nedostataka koji mogu dovesti do teških nezgoda.“

1.1 Metodologija sprovođenja PBS u Srbiji

U Republici Srbiji, primena PBS je normativno uređena kroz Zakon o putevima („Službeni glasnik RS“, br. 41/2018), kao i Pravilnik o načinu sprovođenja revizije i provere bezbednosti saobraćaja na putevima i sastavu stručnog tima za sprovođenje revizije i provere („Službeni glasnik RS“, br. 52/2019). Ovim propisima predviđena je obavezna primena periodičnih i ciljanih provera na državnim putevima prvog i drugog reda, čime je domaća praksa usklađena sa evropskim modelom upravljanja bezbednošću infrastrukture.

Prema PIARC preporukama (PIARC, 2012), PBS obuhvata više koraka:

1. Naručivanje i izbor deonice
2. Prikupljanje dokumentacije (projekat puta, saobraćajni podaci, prethodne nezgode)
3. Terenska istraživanja — pregled elemenata puta, okolnog prostora, obeležavanje, pregled načina korišćenja
4. Izrada izveštaja sa nalazima, fotografijama, skicama i preporukama
5. Izjašnjavanje upravljača puta i praćenje implementacije preporuka

Rezultat PBS-a jeste izveštaj o uočenim nedostacima i opasnostima na putevima, koji ne predstavlja projektnu dokumentaciju već set preporuka na nivou idejnog rešenja. Na osnovu njega upravljač puta definiše prioritete, planira dalje intervencije i započinje proces projektovanja konkretnih mera realizacije.

U PBS učestvuju: klijent (upravljač puta) i proveravač / tim proveravača. Tim je nezavisan od naručioca; stručan i multidisciplinarn (inženjeri, saobraćajni stručnjaci, itd.) i ispunjava propisane uslove za licencu (obrazovanje, iskustvo, stručni ispit).

Prema PIARC preporukama, tim treba da obuhvati vođu, članove, specijalizovane savetnike i, po potrebi, posmatrače. Propisani uslovi za sticanje licence proveravača (obrazovanje, iskustvo, položeni stručni ispit) imaju za cilj da obezbede kvalitet i pouzdanost rezultata.

PBS u Republici Srbiji se razvila tokom protekle decenije i posebno doprinosi sledećim ciljevima:

- sistematskoj detekciji opasnih mesta pre nego što se dese nezgode,
- podršci strateškom planiranju i prioritizaciji intervencija,
- usklađivanju domaće infrastrukture sa modelima bezbednosti EU,
- povećanju pouzdanosti sistema putne bezbednosti u državi.

Predmet ovog istraživanja su državni putevi u Republici Srbiji. Najveći deo transportnog rada se realizuje na državnim putevima, posebno na državnim putevima prvog reda.

Cilj ovog rada je istraživanje cost-benefit odnosa potencijala primene mera unapređenja bezbednosti puta iz izveštaja PBS i mogućih ušteda od smanjenja posledica saobraćajnih nezgoda. Sprovedene analize omogućavaju ocenu troškova primene mera po kilometru puta, vrsti intervencije i kategoriji puta.

1.2 Troškovi i koristi od sprovođenja PBS

Istraživanja PIARC-a (2012) pokazuju da je primena preporuka iz provere bezbednosti dovela do smanjenja broja nezgoda od 20 – 40%, u zavisnosti od vrste intervencija. Elvik (2009) u svom Handbook of Road Safety Measures takođe potvrđuje da provere i revizije imaju pozitivan cost–benefit odnos, jer je cena primene mera često višestruko manja u odnosu na korist u vidu sprečenih nezgoda.

U literaturi najdetaljniji i transparentni osvrt na analizu efekata primenjenih mera dao je Elvik (2009), sprovodeći istraživanje kroz nekoliko koraka:

1. Sistematski pregled literature – za svaku meru urađen je sveobuhvatan pregled empirijskih radova, izveštaja i naučnih studija.
2. Meta-analiza – tamo gde je bilo dovoljno podataka, korišćene su meta-analiitičke tehnike za sintezu rezultata više istraživanja, radi dobijanja pouzdanog prosečnog efekta
3. Kriterijumi za uključivanje – samo studije sa:
 - a. jasno definisanom merom,
 - b. merljivim efektom (npr. smanjenje nezgoda u %),
 - c. dovoljnim brojem podataka za statističku analizu.
4. Jedinica merenja – efekti svake mere izraženi su kao procenat smanjenja (ili povećanja) broja nezgoda, poginulih i povređenih, uz prikaz intervala poverenja. U mnogim slučajevima dodatno su analizirani troškovi i izvršena analiza troškova i koristi (Cost–Benefit Analysis)
5. Primena „Accident Modification Functions (AMF)“- razvijene funkcije koje pokazuju kako promena u infrastrukturi (npr. izgradnja kružnog toka) dovodi do očekivane promene u broju nezgoda.

Kada su u pitanju mere vezane za put, Elvik (2009) sistematizuje mere u tri grupe: (1) projektovanje i opremanje puteva; (2) održavanje puteva; i (3) kontrola saobraćaja i urbane intervencije. U svakoj grupi sistematizovani su uticaji brojnih mera, koje su korišćene u ovom istraživanju kao efekat primenjene mere ako je navedena mera predložena u PBS.

2 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Istraživanje se sastoji iz dve celine: prikupljanje podataka iz PBS izveštaja i analiza troškova/koristi. U prvom delu su prikupljeni PBS izveštaji za državne puteve u Republici Srbiji na osnovu čega je kreirana baza podataka PBS izveštaja. Zadatak ovog dela istraživanja je sistematizacija najčešćih problema bezbednosti saobraćaja, i predlog mera za njihovo otklanjanje. Za potrebe ovog istraživanja korišćeni su zvanični izveštaji o PBS, čiji je naručilac bio upravljač državnih puteva u Republici Srbiji - „Putevi Srbije“. Ukupno je analiziran 81 PBS izveštaj o proverbi bezbednosti saobraćaja.

PBS izveštaji izrađeni su u periodu od 2018. do 2023. godine na dužini od 818 km državnih puteva, različitih kategorija, i to:

- autoputevi – 6 deonica, ukupne dužine 92 km,
- vangradski putevi višeg reda – 43 deonice, ukupne dužine 428 km i
- vangradski putevi nižeg reda – 32 deonice, ukupne dužine oko 298 km.

Deonice koje su predmet izveštaja se nalaze širom Srbije – u centralnom, zapadnom, istočnom i južnom delu zemlje. Na taj način uzorak je heterogen i slučajan, jer pokriva različite geografske i saobraćajne uslove: od gusto naseljenih područja, preko industrijskih zona, do ruralnih područja sa manjim protokom saobraćaja.

Iz svakog izveštaja o PBS prikupljeni su ključni parametri koji čine osnovu za kasniju analizu, i to:

- o identifikacioni podaci: naziv deonice, kategorija puta i oznaka deonice,
- o dimenzione karakteristike: dužinu deonice (u kilometrima) i širinu kolovoza (u metrima)
- o saobraćajne pokazatelje: PGDS - prosečan godišnji dnevni saobraćaj (voz/dan), kao i propisana ograničenja brzine (50, 80, 130 km/h),
- o podatke o nezgodama: broj saobraćajnih nezgoda prema posledicama (poginuli, povređeni, materijalna šteta),
- o identifikovane probleme: ukupno je evidentirano 559 različitih problema,
- o predložene mere: uključujući troškove njihove implementacije i očekivane efekte,
- o procenu nivoa rizika: nizak, srednji ili visok rizik problema

Da bi analiza bila moguća, podaci su unapred kodirani i ujednačeni (npr. svi identifikovani problemi svedeni su na zajedničku listu od 17 kategorija). Ovaj postupak je bio neophodan kako bi se izbegla fragmentacija podataka i omogućila analiza. Inicijalni problemi koji su bili raznoliki i često specifični za svaku deonicu, razvrstani su u 17 kategorija, u skladu sa merama prikazanim u PBS izveštajima. Da bi analiza imala smisla i da bi se izbegla fragmentacija podataka, svi problemi su razvrstani u 17 kategorija: autobuska stajališta na kolovozu; vertikalna signalizacija; zaštitna ograda; neadekvatna vrsta ivičnjaka; neadekvatno osvetljenje; nebezbedni pešački prelazi; nedostatak pešačke infrastrukture; neodržavana bankina; nepostojanje površina namenjenih kretanju biciklista; nepropisno parkiranje vozila; neusklađene brzine; oštećen kolovoz; problem sa geometrijom puta; problem sa infrastrukturuom (nedovoljna širina bankina, neuređeni priključci, visinska razlika između kolovoza i bankina, neuređene zone odmora i slično); problem sa odvodnjavanjem; problem sa preglednošću; i horizontalna signalizacija.

Ovakva klasifikacija omogućila je da se iz velikog broja pojedinačnih izveštaja dobije jasan uvid o tome koji tipovi problema se najčešće pojavljuju i na kojim kategorijama puteva. Prema sistematizovanim problemima, razvrstane su i mere u 17 problema, čiji se efekti mogu pronaći u literaturi.

2.1 Analiza troškova (ukupni i prosečni)

Opšta raspodela problema je omogućila identifikaciju „najkritičnije“ kategorije, odnosno onih problema koji se najčešće javljaju i koji zahtevaju prioritet u rešavanju.

Nakon opšte raspodele, analizirana je raspodela prema učestalosti i vrsti problema prema kategoriji saobraćajnice (autoputevi, vangradski putevi prvog reda i vangradski

putevi drugog reda) i nivou rizika (nizak/srednji/visok). Za svaku identifikovanu meru, eksperti su u PBS izveštajima naveli približnu procenu troškova implementacije.

Za rangiranje i prioritizaciju korišćen je broj problema po kilometru posmatrane deonice, koji predstavlja odnos ukupnog broja identifikovanih problema i ukupne dužine deonice (km).

U ovoj analizi, svi troškovi predloženih mera iskazani su u milionima evra. Troškovi predloženih mera analizirani su za svaki parametar u dve dimenzije:

- Ukupni troškovi, koji pokazuju apsolutno finansijsko opterećenje
- Normalizovani troškovi: prosečan trošak po km (EUR/km)=(ukupni troškovi)/(ukupna dužina deonice (km))

Ovim postupkom eliminiše se uticaj dužine puta na ukupan iznos troškova. Na taj način dobija se prosečan finansijski teret po jednom kilometru puta, što omogućava procenu budžetskog opterećenja i bolje planiranje investicija.

Prosečan trošak po problemu (EUR/problem)=(ukupni troškovi)/(ukupan broj problema), omogućava uvid u prosečnu cenu rešavanja jednog problema bez obzira na dužinu puta. Koristan je za poređenje efikasnosti različitih mera i za određivanje prioriteta – koji problemi „koštaju“ više pojedinačno, a koji mogu biti rešeni uz manje troškove.

Za svaku predloženu meru korišćen je procenat smanjenja broja saobraćajnih nezgoda prema Elvik (2009). Formula za izračunavanje efekta pojedinačne mere je:

$$\text{Smanjenje } SN = N_0 \frac{p}{100} \quad (1)$$

Gde je:

N_0 – polazni broj saobraćajnih nezgoda na deonici koja se istražuje,
 p – procenat smanjenja prema literaturi Elvik (2009).

3 REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Na Grafiku 1 prikazana je raspodela identifikovanih problema bezbednosti saobraćaja na državnih puteva u Republici Srbiji. Najzastupljeniji problem odnosi se na vertikalnu saobraćajnu signalizaciju, sa 97 evidentiranih slučajeva, što čini 17,3% ukupnog broja problema. Sledeća kategorija koja ima značajno učešće u ukupnom broju problema je vezana za horizontalnu signalizaciju (64 slučajeva), što čini 11,4%. Sličan udeo ima i kategorija problema sa preglednošću i vidljivošću, koja čini 11,1%.

Sa druge strane, najmanji udeo u ukupnom broju problema ima problem koji se odnosi na neadekvatnu vrstu ivičnjaka, koji je evidentiran u 5 slučajeva, što predstavlja 0,9% od ukupnog broja. Ovi rezultati ukazuju da najveći broj uočenih problema potiče od nedovoljno adekvatne signalizacije i preglednosti, što predstavlja prioritet za sanaciju i ulaganja.

Na autoputevima evidentirano je 34 problema, odnosno 6,1% ukupnog broja problema na svim proveravanim državnim putevima (N=559 problema). Najzastupljeniji problem odnosi se na zaštitne ograde (8 evidentiranih pozicija) koje čine 23,5% svih problema na autoputevima. Slede problemi sa preglednošću i vidljivošću koji su evidentirani u 5 slučajeva i čine 14,7%, zatim problemi koji se odnose na horizontalnu signalizaciju i neadekvatno osvetljenje koji čine 11,8% problema. Najređi su problemi koji se odnose na oštećen kolovoz i vertikalnu signalizaciju, sa po jednim slučajem.



Grafik 1: Raspodela problema prema tipu problema

Na vangradskim dvotračnim putevima prvog reda evidentirano je 287 problema, što predstavlja 51,3% ukupnog broja problema uključenih u ovom istraživanju. Vertikalna signalizacija je najzastupljeniji problem sa 54 slučaja koji čini 18,8% svih problema na ovim putevima. Problem sa preglednošću i vidljivošću i problem sa horizontalnom signalizacijom su skoro jednako zastupljeni problemi sa respektivno 37 slučajeva (12,9%) i 35 slučajeva (12,2%). Neadekvatno osvetljenje je prisutno u 26 slučajeva (9,1%), a nedostatak pešačke infrastrukture u 24 slučaja (8,4%). Najređi su problemi neusklađene brzine i neadekvatna vrsta ivičnjaka, sa po 3 slučaja.

Posmatrano po kilometru državnog puta, najveću učestalost problema imaju vangradski putevi drugog reda sa 0,80 problema/km, zatim vangradski dvotračni putevi prvog reda sa 0,67 problema/km, dok autoputevi imaju najmanju učestalost od 0,37 problema/km. U poređenju sa prosekom na svim analiziranim deonicama (0,68 problema/km), autoputevi predstavljaju najbezbedniju kategoriju puteva. Vangradski putevi drugog reda imaju povećan broj problema po km, što ukazuje da je stanje i bezbednost ovih puteva na najmanjem nivou.

Prema ograničenju brzine, najveću učestalost problema imaju deonice sa ograničenjem od 50 km/h, sa 2,64 problema/km, što je znatno iznad proseka (0,72 problema/km). Putevi sa ograničenjem od 80 km/h imaju 0,72 problema/km, dok putevi sa ograničenjem od 130 km/h imaju najmanju učestalost sa 0,36 problema/km.

Na osnovu raspodele saobraćajnih nezgoda na deonicama koje su bile predmet PBS izveštaja, identifikovane su po jedna deonica dužine preko 15 km i dužine do 15 km, kao najrizičnije, odnosno deonice sa najvećim kolektivnim rizikom u svojoj kategoriji. Deonica do 15 km sa najvećim rizikom je Arandjelovac (Belanovica) – Arandjelovac (Ranilović), dok je najrizičnija deonica u kategoriji preko 15 km deonica Kragujevac (Divostin) – Ravni Gaj.

3.1 Analiza troškova i koristi

U drugom delu istraživanja izvršena je analiza troškova i koristi sprovođenja mera iz izveštaja PBS. Prema problemu, najveće troškove sanacije je potrebno izdvojiti za problem oštećenog kolovoza, čiji troškovi iznose 1,5 miliona EUR, što čini 29,9% svih troškova. Odmah zatim je sanacija problema nedostatka pešačke infrastrukture, čiji troškovi sanacije iznose 1,3 miliona EUR (26,6%). Zajedno, ova dva problema čine više od polovine ukupnih troškova (56,5%). Problemi sa geometrijom puta iznosi 540.000 EUR i čini 10,9% troškova. Slično tome, sanacija neadekvatnog osvetljenja iznosi 533.000 EUR i čini 10,5% troškova. Troškovi sanacije problema koji se odnosi na zaštitne ograde iznose 320.000 EUR (6,3%), dok svi ostali problemi pojedinačno učestvuju sa manje od 5% ukupnih troškova.

Posmatrano po kilometru puta, najveći troškovi sanacije se odnose na oštećen kolovoz (1.850 EUR/km) i nedostatak pešačke infrastrukture (1.650 EUR/km), tako da ove dve kategorije čine više od 56% ukupnog prosečnog troška po kilometru deonice. Značajne vrednosti troškova imaju i problemi sa geometrijom kolovoza (680 EUR/km) i neadekvatnim osvetljenjem (650 EUR/km), ali oni su znatno ispod proseka. Sa druge strane, većina ostalih problema poput neadekvatne vrste ivičnjaka (17 EUR/km), nebezbednog pešačkog prelaza (8 EUR/km) i neusklađenih brzina (≈ 0 EUR /km) beleže gotovo zanemarljiv finansijski uticaj.

Imajući u vidu prethodno navedeno, prema kategoriji puta, najveći trošak po kilometru je na vangradskim putevima nižeg reda (II A reda) – 7.800 EUR/km; vangradski dvotračni putevi višeg reda (IB reda) imaju prosečan trošak od 5.800 EUR/km, dok najmanji prosečan trošak imaju autoputevi – 3.250 EUR/km.

U skladu sa prethodno navedenim, na dve odabrane deonice za analizu efekata cost-benefit, Arandjelovac (Belanovica – Ranilović) i Kragujevac (Divostin) – Ravni Gaj, izvršena je detaljna analiza mogućeg smanjenja broja saobraćajnih nezgoda u skladu sa problemom koji su identifikovali u PBS izveštajima i istražen je efekat primene mera, prema preporukama u literaturi Rune Elvik (2009). Sanacija problema koji su prepoznati na predmetne dve deonice su pretraženi u literaturi, a zatim je od ukupnog broja nezgoda za period od 3 godine (period obuhvaćen PBS izveštajem), smanjivan broj nezgoda prema potencijalu iz literature. Cilj je da se proceni potencijalni efekat mera na smanjenje broja saobraćajnih nezgoda na predmetne dve deonice.

Tabela 1: Osnovni podaci o najrizičnijim deonicama

Parametar	Arandjelovac (Belanovica – Ranilović)	Kragujevac (Divostin) – Ravni Gaj
Kategorija puta	IB red	IB red
Dužina deonice	0,52 km	15,51 km
Prosečan godišnji dnevni saobraćaj (PGDS)	Podaci o PGDSu nisu dostupni	9.500 voz/dan
Ograničenje brzine (min, max)	30km/h, 50 km/h	30km/h, 80km/h
Širina kolovoza (min, max)	6,3 m, 6,8 m	6m, 6,5m
Broj saobraćajnih nezgoda	15	453
Kolektivni rizik	4,2 SN po km	3,2 SN po km

Tabela 2: Potencijal smanjenja broja SN primenom mera na deonici Arandjelovac (Belanovica - Ranilović)

Problem/mera	Procenat smanjenja (Elvik, 2009)	Polazni broj SN	Smanjenje broja SN	Novi broj SN
Neadekvatna vertikalna signalizacija	15%	15	2,25	12,75
Horizontalna signalizacija (obnova, označavanje)	10%	12,75	1,27	11,48
Rehabilitacija oštećenog kolovoza	5%	11,48	0,57	10,91
Odvodnjavanje/poboljšanje prijanjanja	10%	10,91	1,09	9,82
Problem sa ostalom infrastrukturom	10%	9,82	0,98	8,83

Primenom svih predloženih mera na deonici Kragujevac (Divostin) – Ravni Gaj, ukupan broj saobraćajnih nezgoda bi mogao da se smanji sa 453 na 201, što predstavlja ukupno smanjenje od približno 55%, dok se na deonici Arandjelovac (Belanovica – Ranilović) potencijalne uštede iznose smanje broja sa 15 na 9 (smanjenje od 40%). Ovi rezultati ukazuju, pre svega, na značajnu ulogu pojedinih mera, a posebno:

- o unapređenje osvetljenja (-20%)
- o ugradnja zaštitnih mera i kontrole parkiranja (-15%)
- o poboljšanje signalizacije (-15%)

Međutim, potrebno je naglasiti da ove vrednosti predstavljaju potencijalne efekte u prema preporukama iz literature. Realni efekat u praksi može biti manji, jer zavise od dodatnih faktora, odnosno njihove međusobne interakcije koja se ne može isključiti. Naime, na ponašanje učesnika u saobraćaju primena jedne mere može umanjiti uticaj određenog problema, ali i stvoriti novi problem koji nije prepoznat u izveštajima PBS.

Zbog toga su navedeni procenti potencijalni efekti smanjenja broja nezgoda. Ovi rezultati pokazuju da se empirijske procene efekata mera bezbednosti, zasnovane na istraživanjima Rune Elvik-a (2009), mogu uspešno koristiti kao orijentacioni alat za procenu potencijalne efikasnosti intervencija u PBS izveštajima.

Tabela 3: Potencijale uštede primenom mera na deonici Kragujevac (Divostin) – Ravni Gaj

<i>Problem/mera</i>	<i>Procenat smanjenja (Elvik, 2009)</i>	<i>Polazni broj SN</i>	<i>Smanjenje broja SN</i>	<i>Novi broj SN</i>
<i>Neadekvatna vertikalna signalizacija</i>	<i>15%</i>	<i>453</i>	<i>67,95</i>	<i>385,05</i>
<i>Horizontalna signalizacija (obnova, označavanje)</i>	<i>10%</i>	<i>385,05</i>	<i>38,50</i>	<i>346,55</i>
<i>Nepropisno parkiranje/ zabrana/kontrola</i>	<i>15%</i>	<i>346,55</i>	<i>51,98</i>	<i>294,57</i>
<i>Osvetljenje</i>	<i>20%</i>	<i>294,57</i>	<i>58,91</i>	<i>235,66</i>
<i>Pešačka infrastruktura/ trotoari, prelazi</i>	<i>10%</i>	<i>235,66</i>	<i>23,57</i>	<i>212,09</i>
<i>Rehabilitacija oštećenog kolovoza</i>	<i>5%</i>	<i>212,09</i>	<i>10,60</i>	<i>201,49</i>

4 ZAKLJUČAK

U ovom istraživanju sistematizovani su podaci iz PBS izveštaja, identifikovani su najčešći bezbednosni problemi puta, analizira njihova učestalost i izvršena je detaljna kost-benefit analiza na dve deonice državnih puteva. U odnosu na kategoriju puta, najveći trošak po kilometru je na vangradskim putevima IIA reda, zatim na vangradskim putevima IB reda, dok je najmanji trošak na autoputu. Ovi rezultati predstavljaju posledicu različitog standardna izgradnje i održavanja puteva, prema kom autoputevi imaju najveći prioritet. Ovakvi rezultati ukazuju da su potencijalno mogući veliki rizici nastanka saobraćajnih nezgoda na vangradskim putevima IIA reda, ako se obim saobraćaja na njima poveća.

S obzirom da vangradski putevima IB reda učestvuju u najvećem delu transportnog rada, na njima je evidentiran i najveći kolektivni rizik. Najčešći problemi bezbednosti puta evidentirani u PBS izveštajima su neadekvatna signalizacija, oštećen kolovoz, problemi sa preglednošću i nedostatak pešačke infrastrukture. Ovi nedostaci značajno povećavaju rizik od nastanka saobraćajnih nezgoda i ukazuju na potrebu za sistemskim i prioriternim delovanjem u okviru upravljanja bezbednošću državnih puteva.

Korišćenjem rezultata istraživanja PBS i Elvik (2009) utvrđeno je da su mere koje se odnose na poboljšanje signalizacije, osvetljenja i stanja kolovoza među najefikasnijim intervencijama za smanjenje broja saobraćajnih nezgoda. Analiza potencijalnih ušteda na dve eksperimentalne deonice pokazuje da primena mera iz RSI izveštaja može smanjiti do 55% broj saobraćajnih nezgoda.

Rezultati ovog rada mogu poslužiti kao osnov za određivanje prioriteta prilikom planiranja mera bezbednosti na državnim putevima. Zasnovana na sistematizaciji podataka o identifikovanim problemima puta, predloženim merama i njihovim troškovima, provera bezbednosti saobraćaja omogućava unapređenje bezbednosti puta i efikasniju alokaciju resursa.

Dalji razvoj ovog pristupa mogao bi da obuhvati analizu većeg broja deonica i dužeg vremenskog perioda, kako bi se pouzdanije procenili efekti primene mera i utvrdile mere koje daju najbolje rezultate u domaćim uslovima.

Ograničenje ovog istraživanja je korišćenje podataka iz više izveštaja o Proveri bezbednosti puta koje su izradili različiti stručni timovi za potrebe državnog upravljača. Uočene su razlike u detaljnosti predloženih mera - od konkretnih do opštih preporuka. Efekti mera uglavnom su kvalitativno opisani, dok kvantitativne procene nisu navedene, pa su u ovom radu analizirani na osnovu literature (Elvik, 2009) i rezultata dobijenih u drugim istraživanjima. Ovi aspekti predstavljaju ograničenje analize, ali ne umanjuju potencijal razmatranih mera.

U narednim istraživanjima ovaj pristup bi se mogao unaprediti razvijanjem modela koji uzima u obzir finansijsku težinu svake mere, kao i njen efekat po kilometru puta, čime bi se dobila preciznija procena kost benefit odnosa na državnim putevima.

LITERATURA

- [1] Agencija za bezbednost saobraćaja (ABS) (2026). Integrirana baza podataka o saobraćajnim nezgodama. Dostupno na: <https://bazaabs.abs.gov.rs/smartPortal/saobNezgode>
- [2] Elvik, R. (2001), Cost-benefit analysis of road safety measures: applicability and controversies. *Accid. Anal. Prev.*, vol. 33, no. 1, pp. 9–17.
- [3] Elvik, R. (2019). How to trade safety against cost, time and other impacts of road safety measures. *Accid. Anal. Prev.*, vol. 127, pp. 150–155.
- [4] Elvik, R., Høy, A., Vaa, T. and Sørensen, M. (2009). *The handbook of road safety measures*, Second edition. Bingley, UK: Emerald Group Publishing.
- [5] EU (2008). Directive 2008/96/EC on Road Infrastructure Safety Management. *Official Journal of the EU*.
- [6] International Transport Forum / OECD (ITF/OECD) (2024). *Road Safety Annual Report 2024*. Paris: OECD Publishing.
- [7] JP "Putevi Srbije" (2019). Smernice za sprovođenje provere bezbednosti puta. Beograd: JP „Putevi Srbije“. Available at: <https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/investicije/Smernice-za-sprovođenje-Provere.pdf>
- [8] Lipovac, K., Jovanović, D., Nešić, M., *Osnove bezbednosti saobraćaja*, Beograd, Republika Srbija, Kriminalističko-policijski univerzitet, 2019.
- [9] Pešić, D., Antić, B., Lipovac, K., *Bezbednost saobraćaja - metode i analize*, Beograd, Republika Srbija, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, 2019.
- [10] PIARC (2003). *Road Safety Manual*. Paris: World Road Association
- [11] Pravilnik o načinu sprovođenja revizije i provere bezbednosti saobraćaja na putevima i sastavu stručnog tima za sprovođenje revizije i provere ("Službeni glasnik RS", br. 52/2019).
- [12] World Health Organization (WHO) (2023). *Global Status Report on Road Safety 2023*. Geneva: World Health Organization.
- [13] Zakon o putevima ("Službeni glasnik RS", br. 41/2018, 95/208 - dr. zakon, 31/2021 i 89/2021).

SUMMARY**Analysis of the effects of road safety inspections on state roads in the Republic of Serbia**

Abstract: The road, as one of the factors affecting road safety, has a significant influence on both the occurrence and consequences of road traffic crashes. According to PIARC data, the road and its environment contribute to approximately 34% of road traffic crashes, highlighting the need for systematic analyses of infrastructure deficiencies and their impact on risk. The subject of this research is the state road network, where the largest number of road traffic crashes occurs. The study systematizes Road Safety Inspection reports conducted on state roads in the Republic of Serbia by several companies. The aim of the study is to systematize the identified problems, proposed solutions, and remediation costs, as well as to assess their effectiveness. The results provide a basis for prioritizing interventions aimed at reducing risk and achieving more economically efficient road safety management.

Key words: road factor, Road Safety Inspection, state roads, infrastructure deficiencies, proposed solutions, costs-benefit.

Uticaj kružnih raskrsnica na nivo bezbednosti saobraćaja na motoputu Šabac–Loznica⁵

Katarina Komnenović, Putevi Srbije, Beograd, katarina.komnenovic@putevi-srbije.rs

Miloš Milosavljević, Putevi Srbije, Beograd, milos.milosavljevic@putevi-srbije.rs

Ivana Ilić, Putevi Srbije, Beograd, ivana.ilic@putevi-srbije.rs

Vladimir Borisavljević, Putevi Srbije, Beograd, vladimir.borisavljevic@putevi-srbije.rs

Rezime: Analiza bezbednosti saobraćaja na novoizgrađenom motoputu Šabac–Loznica identifikuje površinske kružne raskrsnice kao kritične tačke na deonici, gde se zbog neprilagođene brzine beleži povećan broj saobraćajnih nezgoda. Iako je nova saobraćajnica značajno rasteretila tranzitni saobraćaj, u praksi se pojavio specifičan problem koji nastaje kao posledica promene režima vožnje i geometrijskih karakteristika puta. Naime, vozači sa deonice auto-puta u punom profilu (projektovana brzina 130 km/h) prelaze na motoput (projektovana brzina 100 km/h), gde na relativno kratkom odstojanju nailaze na sukcesivnu seriju od pet kružnih raskrsnica. Rad detaljno analizira faktore koji doprinose nastanku saobraćajnih nezgoda i predlaže inženjersko-tehničke mere koje bi mogle doprineti značajnom poboljšanju nivoa bezbednosti na predmetnom putnom pravcu.

Ključne reči: Saobraćaj, protok, kružni tok, kružna raskrsnica, saobraćajna nezgoda, neprilagođena brzina

1 UVOD

Bezbednost saobraćaja na motoputu Šabac–Loznica predstavlja važan faktor za sigurno i efikasno funkcionisanje saobraćaja, imajući u vidu njen značaj za povezivanje naselja i razvoj regiona. Analiza bezbednosti saobraćaja na ovoj deonici omogućava prepoznavanje potencijalnih rizika i unapređenje bezbednosti saobraćaja. Predmet istraživanja ovog rada je procena stanja bezbednosti saobraćaja na motoputu Šabac–Loznica, sa ciljem identifikovanja ključnih problema i predlaganja mera koje mogu doprineti povećanju bezbednosti i smanjenju broja saobraćajnih nezgoda.

2 TEORIJSKE OSNOVE BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA NA KRUŽNIM RASKRSNICAMA

2.1 Karakteristike kružnih raskrsnica

Kružne raskrsnice predstavljaju jedno od najznačajnijih rešenja u savremenom projektovanju putne infrastrukture, jer u slučajevima nižih saobraćajnih opterećenja omogućavaju bezbednije i efikasnije funkcionisanje saobraćaja u odnosu na klasične

⁵ CC BY-NC-ND licenca

površinske raskrsnice. Njihova primena doprinosi smanjenju broja konfliktnih tačaka, usporavanju brzine kretanja vozila i povećanju protočnosti saobraćaja. Zahvaljujući načinu organizacije saobraćaja, kružne raskrsnice pozitivno utiču na smanjenje broja i težine saobraćajnih nezgoda, kao i na poboljšanje uslova za kretanje svih učesnika u saobraćaju. [1]

Funkcionalne karakteristike kružnih raskrsnica odnose se na njihov kapacitet, nivo usluge, propusnu moć i način regulisanja saobraćajnih tokova, dok geometrijske karakteristike obuhvataju elemente kao što su prečnik centralnog ostrva, širina kolovoza, broj saobraćajnih traka, radijusi ulaznih i izlaznih krivina, razdelna ostrva i oblik priključnih krakova. Pravilnim izborom i dimenzionisanjem ovih elemenata postiže se optimalna brzina kretanja vozila, povećava preglednost raskrsnice i smanjuje mogućnost nastanka konfliktnih situacija. [2]

2.2 Karakteristike saobraćajnih nezgoda na kružnim raskrsnicama

Najzastupljeniji tipovi saobraćajnih nezgoda na kružnim raskrsnicama obuhvataju bočne sudare prilikom uključivanja u kružni tok, sudare usled naletanja na vozilo ispred zbog neprilagođene brzine ili nedovoljnog rastojanja, kao i nezgode u kojima učestvuju pešaci i biciklisti. U poređenju sa klasičnim raskrsnicama, znatno su ređi čeon i bočni sudari pod pravim uglom, koji najčešće imaju najteže posledice. Zbog nižih brzina kretanja vozila kroz kružnu raskrsnicu, većina nezgoda rezultira materijalnom štetom i lakšim telesnim povredama, dok je broj nezgoda sa smrtnim ishodom značajno manji. [1] [3]

2.3 Uticaj brzine na bezbednost saobraćaja

Upravljanje brzinom predstavlja jednu od najvažnijih mera unapređenja bezbednosti saobraćaja. Na kružnim raskrsnicama brzina kretanja vozila ima posebno značajnu ulogu, budući da je njihov osnovni cilj da usporavanjem saobraćaja omoguće bezbednije uključivanje, kretanje kroz raskrsnicu i isključivanje iz nje. Geometrijski elementi kružne raskrsnice, kao što su radijusi ulaznih i izlaznih krivina, prečnik centralnog ostrva i širina kolovoza, projektuju se tako da podstiču vozače na smanjenje brzine i održavanje ujednačenog toka saobraćaja. Na taj način smanjuje se mogućnost nastanka konfliktnih situacija i povećava vreme dostupno vozačima za pravilno reagovanje. [1] [2] [3]

Istraživanja pokazuju da čak i relativno malo povećanje prosečne brzine kretanja može značajno povećati rizik od nastanka saobraćajnih nezgoda i težinu njihovih posledica. Veće brzine povećavaju verovatnoću gubitka kontrole nad vozilom, otežavaju procenu udaljenosti i brzine drugih učesnika u saobraćaju, dok u slučaju sudara dovode do znatno većih sila udara. Nasuprot tome, smanjenje brzine doprinosi kraćem zaustavnom putu, boljoj preglednosti saobraćajne situacije i efikasnijem izbegavanju potencijalnih konflikata. [4] [5]

3 KARAKTERISTIKE SAOBRAĆAJNICE ŠABAC–LOZNICA

3.1 Tehničke karakteristike putnog pravca

Saobraćajnica od Šapca do Loznice koja je predmet analize ovog rada je državni put IM reda broj 3 (M3) što prema kategorizaciji državnih puteva predstavlja motoput. [6]

Motoput Šabac–Loznica projektovan je kao savremena drumska saobraćajnica namenjena bezbednom i efikasnom funkcionisanju saobraćaja velikih brzina. Izveden je sa

po dve saobraćajne trake u oba smera, razdvojene središnjim pojasom, što značajno povećava bezbednost i propusnu moć. Projektovana brzina iznosi do 100 km/h, a trasa obuhvata veći broj mostova, nadvožnjaka, podvožnjaka i denivelisanih petlji koje omogućavaju nesmetan tok saobraćaja bez ukrštanja u nivou. Ovaj put je opremljen savremenom signalizacijom, zaštitnim ogradama, sistemom za odvodnjavanje i pratećom infrastrukturom, čime se obezbeđuju visok nivo bezbednosti, pouzdanosti i udobnosti tokom eksploatacije.

3.2 Položaj i karakteristike kružnih raskrsnica

Imajući u vidu da je predmetni put klasifikovan kao put za saobraćaj motornih vozila, sva ukrštanja sa drugim vidovima saobraćaja projektovana su kao denivelisana, čime je izbegnuto ukrštanje drugih vidova sa drumskim saobraćajem u istom nivou. S druge strane, Prostornim planom predviđeno je da veze sa okolnom putnom mrežom budu površinske. U skladu sa programskim uslovom potpune kontrole pristupa, kao i radi racionalizacije troškova izgradnje, predviđeno je da se povezivanje drugih saobraćajnica sa predmetnim državnim putem ostvaruje preko površinskih raskrsnica. Tamo gde to prostorni uslovi omogućavaju, ove raskrsnice su projektovane kao raskrsnice sa kružnim tokom saobraćaja.

Početak deonice puta Šabac–Loznica predstavlja nastavak auto-puta Ruma–Šabac i nalazi se na stacionaži km 59+700, dok je kraj predmetne deonice na km 113+420. Raspored petlji i kružnih raskrsnica je sledeći: Petlja Majur – km 63+600, KR Šabac – km 66+100, Petlja Slepčević – km 74+325, Petlja Petlovača – 80+050, Petlja Prnjavor – km 87+970, KR Lešnica – 98+300, KR Lipnički šor – km 104+035, KR Loznica sever – km 108+500, KR Loznica (2) – km 110+588.

Kružne raskrsnice su projektovane kao trokrake, sa po dve saobraćajne trake, dok su sporedni pravci raskrsnicama projektovani sa dve ulazne trake u kružni tok i dve izlazne trake iz kružnog toka. Kako je najznačajniji bezbednosni efekat kružne raskrsnice smanjenje brzine vozila u zoni ukrštanja, primoravanjem vozača da promeni pravac kretanja, smanji brzinu i ustupi prvenstvo vozilima u kružnom toku, na državnom putu IM reda broj 3 javlja se drugi problem – prelazak sa režima vožnje velikom brzinom na režim kružne raskrsnice. Vozač koji se duže kreće motoputem, može očekivati kontinuitet trase i denivelisane raskrsnice, što se može videti i iz dispozicije samih petlji i kružnih raskrsnica.

4 ANALIZA BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA NA KRUŽNIM RASKRSNICAMA

4.1 Analiza saobraćajnih nezgoda

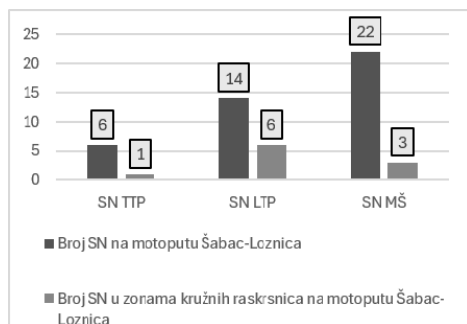
U ovom poglavlju analizirane su saobraćajne nezgode na motoputu Šabac–Loznica koje su se dogodile u 2025. godini. [7]

Dijagram 1. prikazuje raspodelu saobraćajnih nezgoda na motoputu Šabac–Loznica prema vrsti, sa posebnim prikazom nezgoda evidentiranih u zonama kružnih raskrsnica tokom 2025. godine. Ukupno su registrovane 42 saobraćajne nezgode, od kojih je 10 evidentirano u zonama kružnih raskrsnica, što čini približno 23,8% ukupnog broja nezgoda.

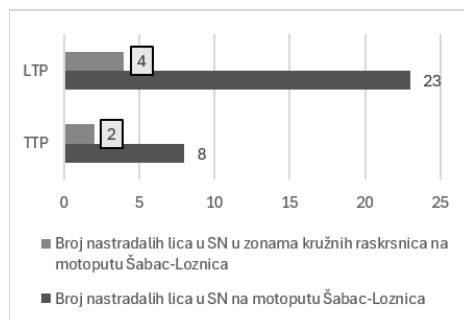
Prema strukturi saobraćajnih nezgoda, najveći broj registrovan je u kategoriji SN MŠ (22), zatim SN LTP (14), dok je najmanji broj evidentiran u kategoriji SN TTP (6). Kada se posmatraju samo nezgode u zonama kružnih raskrsnica, najveća zastupljenost je kod

kategorije SN LTP, sa 6 nezgoda, dok su u kategorijama SN MŠ i SN TTP registrovane 3, odnosno 1 nezgoda.

Dijagram 2. prikazuje broj nastradalih lica u saobraćajnim nezgodama na motoputu Šabac–Loznica, sa posebnim osvrtom na lica nastradala u zonama kružnih raskrsnica. U kategoriji SN LTP evidentirana su ukupno 23 nastradala lica, od kojih su 4 lica nastradala u zonama kružnih raskrsnica. Kod kategorije SN TTP registrovano je 8 nastradalih lica, od kojih su 2 lica nastradala u zonama kružnih raskrsnica.



Dijagram 1. Raspodela SN na moto putu Šabac - Loznica prema vrsti, 2025. godina



Dijagram 2. Nastradala lica na motoputu Šabac-Loznica

Najznačajnija karakteristika je izrazito veće učešće nezgoda sa jednim vozilom u raskrsnici ili na petlji u zoni kružnih raskrsnica, koje čine 60,0% evidentiranih nezgoda, dok je njihovo učešće na posmatranom motoputu 16,7%. Posebno se izdvaja podatak da su nezgode sa učešćem jednog vozila i životinje zastupljene sa 23,8% na motoputu, dok u prikazanoj strukturi nezgoda u zoni kružnih raskrsnica nisu evidentirane.

Najzastupljeniji uticajni faktor na celom motoputu jeste preduzimanje nepromišljenih radnji od strane vozača, sa učešćem od 40,91%, dok je u zoni kružnih raskrsnica ovaj faktor još izraženiji i učestvuje sa 58,82%. Drugi najzastupljeniji faktor je pogrešno izvođenje radnji u saobraćaju od strane vozača, koje čini 31,82% nezgoda na motoputu, odnosno 29,41% u zoni kružnih raskrsnica. Relativno slične vrednosti ukazuju da je ovaj faktor podjednako značajan na celom motoputu i u zoni kružnih raskrsnica. [7]

Pri tumačenju faktora nastanka saobraćajnih nezgoda potrebno je uzeti u obzir ograničenja prikupljenih podataka, koji sami po sebi nisu dovoljni za sprovođenje dublje i detaljnije analize pojedinačnih saobraćajnih nezgoda koje su predmet ovog rada.

4.2 Identifikacija uzroka nastanka nezgoda

Vozač kretanjem po motoputu može očekivati kontinuitet trase i denivelisane raskrsnice, kao i ograničen broj pristupa i odsustvo iznenadnih zaustavljanja. Pojava kružne raskrsnice na takvom tipu saobraćajnice može predstavljati kritičnu tačku sa aspekta ponašanja vozača, posebno kada vozač kasno uoči kružnu raskrsnicu i ne prilagodi brzinu kretanja vozila na vreme. Kao značajni problemi koji mogu doprineti nastanku saobraćajnih nezgoda, izdvajaju se prevelika brzina, kasno uočavanje kružne raskrsnice, kasno započinjanje procesa kočenja, kao i neprilagođavanje brzine i načina vožnje promenjenim uslovima funkcionisanja saobraćaja. Sve prethodno navedeno ukazuje da ljudski faktor, odnosno ponašanje i postupanje vozača, može imati značajnu ulogu u

nastanku saobraćajnih nezgoda na predmetnoj deonici. Shodno tome, mere usmerene na smanjenje rizika potrebno je, između ostalog, usmeriti na blagovremeno prepoznavanje promene režima saobraćaja, pravovremeno smanjenje brzine i prilagođavanje načina vožnje uslovima na putu. [8]

S druge strane, u izveštaju Revizije bezbednosti saobraćaja, koja je u skladu sa odredbama Zakona o putevima sprovedena za fazu – Projekat izvedenog objekta (šest meseci posle puštanja u eksploataciju), posmatrajući celu deonicu motoputa, može se zaključiti da su se kružne raskrsnice pokazale kao kritične lokacije, kao i da je neprilagođena brzina osnovni zajednički faktor nastanka svih saobraćajnih nezgoda koje su se dogodile na kružnim raskrsnicama. Na osnovu izračunatog modifikovanog PIARC-ovog modela ponderisanog broja saobraćajnih nezgoda, konstatovano je da na deonici nema opasnih mesta I, II i III ranga. [9] [10]

Imajući u vidu navedeno, kao i činjenicu da je na prilazima svim kružnim raskrsnicama postavljena odgovarajuća saobraćajna signalizacija, uz adekvatnu najavu, obeležavanje, redukciju brzine i primenu mera za usporenje saobraćaja, revizorski tim u izveštaju ističe da su karakteristike puta, kao i tip, položaj i raspored raskrsnica mogle imati značajan uticaj na nastanak i posledice saobraćajnih nezgoda. U konkretnom slučaju, revizorski tim posebno ističe da je u pitanju tip raskrsnica koji funkcionalno ne odgovara karakteristikama predmetnog puta, kao i da njihov položaj i raspored u odnosu na druge objekte na putu mogu predstavljati dodatne faktore koji doprinose nastanku i posledicama saobraćajnih nezgoda.

5 PREDLOG MERA ZA UNAPREĐENJE BEZBEDNOSTI SAOBRAĆAJA

Na osnovu sprovedene analize saobraćajnih nezgoda, identifikovanih ljudskih, infrastrukturnih i saobraćajnih faktora, kao i nalaza Revizije bezbednosti saobraćaja, predlaže se sprovođenje inženjersko-tehničkih mera usmerenih prvenstveno na pravovremeno prepoznavanje kružnih raskrsnica, postepeno i blagovremeno smanjenje brzine vozila i jasno definisanje promene režima funkcionisanja saobraćaja. [10]

Imajući u vidu da je neprilagođena brzina identifikovana kao osnovni zajednički faktor nastanka saobraćajnih nezgoda na kružnim raskrsnicama, kao i da su postojeće kružne raskrsnice prepoznate kao kritične lokacije, predlažu se sledeće mere:

- Unapređenje saobraćajne signalizacije i opreme na prilazima kružnim raskrsnicama (postavljanje usmeravajućih tabli na fluo osnovi u samom kružnom toku, odnosno na kružnom ostrvu; izmeštanje znakova „raskrsnica sa kružnim tokom saobraćaja“ (III-202) na odgovarajuću poziciju pre početka zone raskrsnice; postavljanje znakova ograničenja brzine i znaka za raskrsnicu sa kružnim tokom na fluo osnovu, radi bolje uočljivosti, postavljanje treptućih znakova za ograničenje brzine i znakovima za raskrsnicu sa kružnim tokom, dopuna nedostajućih uređaja za zadržavanje vozila, u skladu sa utvrđenim potrebama). [11]
- Unapređenje mera za smanjenje brzine (u zoni postojećih vibro-traka predvideti dodatne optičke trake, sa ciljem povećanja vizuelnog utiska promene uslova vožnje i podsticanja vozača na pravovremeno smanjenje brzine, ograničenje brzine 100 km/h definisati nakon izlaska iz zone kružnog toka i uspostavljanja stabilne vožnje, na mestu na kojem je obezbeđena odgovarajuća uočljivost saobraćajnog znaka, eventualno preispitati

geometriju prilaza kružnim raskrsnicama u cilju obezbeđivanja postepenog smanjenja brzine). [11]

Primenom navedenih mera može se očekivati povećanje uočljivosti zona kružnih raskrsnica, što bi za posledicu moglo imati blagovremeno smanjenje brzine kretanja vozila, a samim tim i smanjenje rizika od gubitka kontrole nad vozilom. Međutim, predložene mere imaju prvenstveno korektivni karakter i usmerene su na ublažavanje uočenih bezbednosnih problema, dok suštinski ne otklanjaju osnovni problem – funkcionalnu neusaglašenost površinskih kružnih raskrsnica sa karakteristikama predmetnog puta.

6 ZAKLJUČAK

Analiza bezbednosti saobraćaja na motoputu Šabac–Loznica pokazala je da kružne raskrsnice predstavljaju specifične kritične tačke na predmetnoj deonici. Iako kružne raskrsnice uobičajeno doprinose povećanju bezbednosti, njihov položaj i raspored na motoputu, kao i nagla promena režima vožnje sa visokih brzina na kružni tok, mogu predstavljati dodatni rizik za učesnike u saobraćaju.

Rezultati analize saobraćajnih nezgoda ukazuju da je neprilagođena brzina, odnosno ponašanje vozača, jedan od ključnih faktora nastanka nezgoda u zonama kružnih raskrsnica. Posebno je izraženo učešće nezgoda sa jednim vozilom, što ukazuje na značaj pravovremenog uočavanja raskrsnice, smanjenja brzine i prilagođavanja načina vožnje.

U cilju unapređenja nivoa bezbednosti potrebno je primeniti dodatne inženjersko-tehničke mere, pre svega unapređenje saobraćajne signalizacije i opreme, povećanje uočljivosti zona raskrsnica i obezbeđivanje postepenog smanjenja brzine. Kombinacijom ovih mera moguće je smanjiti rizik od nastanka saobraćajnih nezgoda i poboljšati bezbednost saobraćaja na motoputu Šabac–Loznica.

Uzimajući u obzir sve navedeno, kao i nalaze Revizije bezbednosti saobraćaja, kao dugoročno rešenje potrebno je razmotriti mogućnost projektovanja i izgradnje denivelisanih raskrsnica, uz uvođenje alternativnih saobraćajnica za sabiranje lokalnih tokova ili ukidanje pojedinih pristupnih tačaka. Takođe, nameće se i jasna preporuka za izbegavanje sličnih rešenja u budućnosti, što potvrđuje i izmena projektnog rešenja za brzu saobraćajnicu Slepčević – Badovinci.

U cilju validacije ovih zaključaka, u budućim istraživanjima preporučuje se sprovođenje slične analize na primeru deonice puta IM reda broj 15 (Batočina – Kragujevac).

LITERATURA

- [1] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2010). Roundabouts: An Informational Guide – Second Edition. NCHRP Report 672. Washington, DC: The National Academies Press. DOI: 10.17226/22914
- [2] JP „Putevi Srbije“. SRDM – Priručnik za projektovanje puteva, 5-3 Kružne raskrsnice.
- [3] PIARC – World Road Association. Road Safety Manual: Technical Sheet – Intersections
- [4] Elvik, R., Vadeby, A., Hels, T., & van Schagen, I. (2019). Updated estimates of the relationship between speed and road safety at the aggregate and individual levels. Accident Analysis & Prevention, 123, 114–122
- [5] World Health Organization. (2017). Managing Speed. Geneva: WHO. WHO Reference Number: WHO/NMH/NVI/17.7

- [6] Uredba o kategorizaciji državnih puteva ("Sl Glasnik RS" br. 34/26)
- [7] Baza podataka o saobraćajnim nezgodama, Uprava saobraćajne policije
- [8] Putevi Srbije d.o.o. Odeljenje za nadzor i upravljanje saobraćajem – FM.850.420.005. (2025) Dnevnik događaja OUC Takovo.
- [9] PIARC (World Road Association). Road Safety Manual: Crash Data Identification and Methods for Identifying High-Risk Locations.
- [10] MHM Projekt d.o.o. jul 2025. Revizija projekata sa aspekta bezbednosti saobraćaja – Projekat izvedenog objekta (PIO) – 6 meseci posle puštanja u eksploataciju.
- [11] Institut za puteve AD Beograd. 2024. 8 Projekat saobraćaja i saobraćajne signalizacije.

SUMMARY

The Influence of Roundabouts on the Level of Traffic Safety on Šabac-Loznica Motorway

Abstract: The traffic safety analysis on the newly built Šabac-Loznica motorway identifies surface roundabouts as critical points on the section, where an increased number of traffic accidents are recorded due to inappropriate speed. Although the new thoroughfare significantly relieved transit traffic, in practice, as a consequence of the change in driving regime and the geometric characteristics of the road a specific problem of speed transition and road geometry a specific problem appeared. Namely, drivers transitioning from a full-profile motorway section (design speed 130 km/h) to the motorway (design speed 100 km/h) encounter, at a relatively short distance, a successive series of five roundabouts. Namely, drivers from the section of the full highway (design speed 130 km/h) switch to the motorway (design speed 100 km/h), where in a relatively short distance they encounter a successive series of five roundabouts. The paper analyzes in detail the causes of these conflicts and proposes engineering and technical measures that could contribute to a significant improvement in the level of safety on the road in question.

Key words: Traffic, flow, circular flow, roundabout, traffic accident, inappropriate speed

Analiza promene brzine vozila u zoni ulaza u naselja na državnim putevima sa aspekta bezbednosti saobraćaja

Lazar Stojanović, Hidroprojekat saobraćaj, lazar.stojanovic@hps.rs

Milica Tubić, Hidroprojekat saobraćaj, milica.tubic@hps.rs

Danijela Rotula, Hidroprojekat saobraćaj, danijela.rotula@hps.rs

Marija Stojanović, Hidroprojekat saobraćaj, marija.stojanovic@hps.rs

Miloš Micković, Hidroprojekat saobraćaj, milos.mickovic@hps.rs

Ana Rusić, Hidroprojekat saobraćaj, ana.rusic@hps.rs

Nebojša Vidić, Hidroprojekat saobraćaj, nebojsa.vidic@hps.rs

Rezime: Brzina kretanja vozila predstavlja jedan od najznačajnijih faktora koji utiču na bezbednost saobraćaja, naročito u zonama prelaza sa puta van naselja u naselje. Uprkos jasno definisanim ograničenjima brzine u naseljima, u praksi se često javlja problem neadekvatnog prilagođavanja brzine vozila nakon prelaska u režim saobraćaja karakterističan za naselja. Cilj rada je analiza karakteristika promene brzine kretanja vozila u zoni ulaza u naselje na državnim putevima, kao i sagledavanje bezbednosnih karakteristika ovih zona kroz analizu saobraćajnih nezgoda. Istraživanje je zasnovano na podacima prikupljenim terenskim merenjima na većem broju lokacija sa sličnim saobraćajno-tehničkim i prostornim karakteristikama, uz analizu saobraćajnih nezgoda evidentiranih u posmatranim zonama. Na osnovu dobijenih rezultata izvršena je analiza povezanosti između ponašanja vozača u pogledu prilagođavanja brzine i nivoa bezbednosti saobraćaja, uz definisanje preporuka za unapređenje bezbednosnih performansi tranzicionih zona na ulazima u naselja.

Ključne reči: brzina, naselje, državni put, saobraćajne nezgode

1 UVOD

Upravljanje brzinama predstavlja jedan od ključnih elemenata unapređenja bezbednosti saobraćaja, budući da brzina kretanja vozila utiče kako na verovatnoću nastanka saobraćajne nezgode, tako i na težinu njenih posledica [1]. Posebno osetljive delove putne mreže predstavljaju tranzicione zone na prilazima naseljima, u kojima dolazi do prelaska iz saobraćajnog okruženja karakterističnog za puteve van naselja, sa višim brzinama kretanja, u režim saobraćaja sa nižim dozvoljenim brzinama i većim brojem potencijalnih konflikata. Sama promena ograničenja brzine ne podrazumeva nužno i trenutnu promenu ponašanja vozača, naročito ukoliko geometrijske i vizuelne karakteristike puta i nakon ulaska u naselje podstiču kretanje većim brzinama. Istraživanja pokazuju da vozači u ovakvim zonama mogu zadržati obrazac vožnje formiran na deonici puta van naselja, zbog čega prilagođavanje brzine novim uslovima realizacije saobraćaja može biti nedovoljno ili zakasnelo [2]. Iz tog razloga, ulaz u naselje ne treba posmatrati isključivo kao administrativno mesto promene ograničenja brzine, već kao funkcionalnu tranzicionu zonu u kojoj karakteristike puta i njegovog okruženja treba jasno da ukažu

vozaču na potrebu za smanjenjem brzine. Dosadašnja istraživanja pokazuju da odgovarajuće oblikovanje ulaza u naselje, primenom fizičkih i vizuelnih mera, može doprineti smanjenju brzine i njenom postepenijem prilagođavanju uslovima karakterističnim za naselje [2][3]. Sagledavanje stvarnog ponašanja vozača u pogledu promene brzine, zajedno sa bezbednosnim karakteristikama ovih zona, stoga predstavlja značajnu osnovu za prepoznavanje nedostataka postojećeg stanja i definisanje odgovarajućih mera za unapređenje bezbednosti saobraćaja.

2 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Metodološki postupak podrazumeva definisanje kriterijuma za odabir lokacija, terensko merenje brzina vozila u dve iteracije, prikupljanje podataka o saobraćajnim nezgodama iz integrisane baze podataka Agencije za bezbednost saobraćaja, obradu i analizu prikupljenih podataka, interpretaciju rezultata istraživanja, kao i donošenje zaključaka i preporuka.

2.1 *Odabir lokacija istraživanja i analiza bezbednosti saobraćaja*

Odabir lokacija za istraživanja izvršen je na osnovu unapred definisanih kriterijuma, sa ciljem obezbeđivanja što veće međusobne uporedivosti dobijenih rezultata.

Kriterijumi za odabir lokacija podrazumevaju: da se tranziciona zona ulaska u naselje nalazi na državnom putu; da je na ulasku u naselje postavljen saobraćajni znak III-24; da se tranziciona zona nalazi na pravcu (bez horizontalnih i vertikalnih krivina); da je u bazi podataka evedintirana najmanje jedna saobraćajna nezgoda u predmetnoj zoni; da je kod najmanje jedne evidentirane saobraćajne nezgode kao uticajni faktor navedena neprilagođena brzina; da na posmatranoj deonici ne postoje dodatni elementi za usporavanje saobraćaja, kao što su zona škole, veštačke izbočine, semaforizovane raskrsnice, kružni tokovi i drugi elementi koji bi mogli uticati na ponašanje vozača.

Na osnovu prethodno definisanih kriterijuma odabrano je šest lokacija za sprovođenje terenskog istraživanja i to na ulazima u naselja Žarkovac, Putinci, Golubinci, Ruma, Inđija i Stara Pazova. Sve odabrane lokacije nalaze se na državnim putevima IIA reda, odnosno na putevima oznaka 100, 106 i 126. Sa druge strane, odabrane lokacije se međusobno razlikuju prema važećem ograničenju brzine na prilazu naselju, karakteristikama saobraćajnog toka, broju konfliktnih tačaka i drugim lokalnim uslovima. Na prilazima naseljima Ruma, Golubinci i Inđija ograničenje brzine iznosi 60 km/h, dok je na prilazima naseljima Putinci, Žarkovac i Stara Pazova ograničenje brzine 80 km/h.

U Tabeli 1. dat je pregled saobraćajnih nezgoda evidentiranih na analiziranim deonicama u periodu od 2021. do 2025. godine, u kojima je neprilagođena brzina uslovima saobraćaja i stanju puta prepoznata kao uticajni faktor. Pri interpretaciji rezultata potrebno je imati u vidu da su saobraćajne nezgode evidentirane na području Žarkovca u bazi Agencije za bezbednost saobraćaja obuhvaćene deonicom Ruma (Putinci) – Putinci. Na osnovu podataka prikazanih u Tabeli 1. uočava se da je najveći broj saobraćajnih nezgoda sa povređenim licima zabeležen na deonici Stara Pazova – Nova Pazova, ukupno 15. Značajan broj nezgoda evidentiran je i na deonicama Inđija – Stara Pazova i Ruma – Putinci, gde je zabeleženo 9, odnosno 7 saobraćajnih nezgoda sa povređenim licima.

Kada je reč o saobraćajnim nezgodama sa poginulim licima, najveći broj zabeležen je na deonicama Ruma – Putinci, Putinci – Golubinci i Golubinci – Stara Pazova, sa po 2 saobraćajne nezgode, na deonici Stara Pazova – Nova Pazova zabeležena je 1 saobraćajna nezgoda, dok na deonici Indija – Stara Pazova nema zabeleženih saobraćajnih nezgoda sa najtežim posledicama. Dobijeni podaci ukazuju na izraženiju zastupljenost saobraćajnih nezgoda na pojedinim deonicama, što predstavlja osnov za njihovu detaljniju analizu prema identifikovanim uticajnim faktorima, sa posebnim osvrtom na neprilagođenu brzinu kao faktor nastanka saobraćajne nezgode.

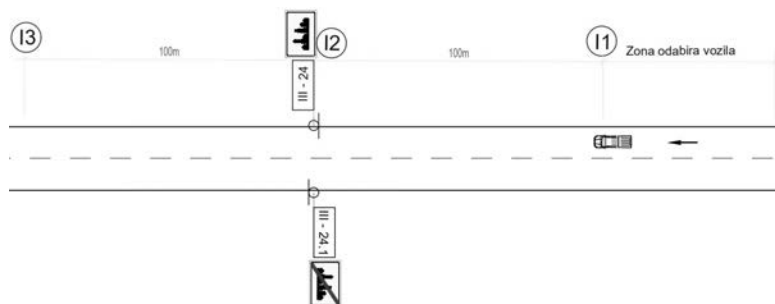
Tabela 1: Saobraćajne nezgode sa poginulim i povređenim licima na analiziranim deonicama, u periodu od 2021. do 2025. godine

Period	Deonica puta	SN POG	SN POV
2021-2025	Ruma - Putinci	2	7
2021-2025	Putinci - Golubinci	2	1
2021-2025	Golubinci - Stara Pazova	2	3
2021-2025	Indija - Stara Pazova	0	9
2021-2025	Stara Pazova - Nova Pazova	1	15

2.2 Terensko istraživanje i postupak merenja

Terensko istraživanje obuhvata šest odabranih lokacija, na kojima su merenja sprovedena u dve iteracije. Merenja su realizovana u idealnim vremenskim uslovima, a brzine vozila zabeležene su u uslovima slobodnog saobraćajnog toka. Brzine vozila određivane su ručnim merenjem vremena prolaska (štopericom) na unapred definisanim presecima merenja. Potez na kojem je vršeno merenje brzine vozila ukupne je dužine 200 m i podeljen je na dve zone, pri čemu posmatrane zone obuhvataju dužinu od 100 m. Prva zona obuhvata deo puta pre ulaska u naselje, dok druga zona obuhvata deo puta nakon ulaska u naselje.

Za potrebe istraživanja angažovana su tri istraživača (I1, I2, I3). Istraživači su bili pozicionirani tako da se ne ugrožava njihova bezbednost i da ne ometaju saobraćajni tok. Na Slici 1. dat je šematski prikaz obuhvata istraživanja.



Slika 1: Šematski prikaz obuhvata istraživanja

3 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Analiza sprovedenog istraživanja zasniva se na rezultatima merenja brzina vozila na odabranim lokacijama, pri čemu su brzine zabeležene na mernim presecima pre i posle znaka za početak naselja. Dobijeni podaci prikazani su tabelarno i grafički, kroz analizu

ostvarenih brzina i strukture vozila prema stepenu prekoračenja ograničenja. Ograničenja brzine pre ulaska u naselje razlikuju se u zavisnosti od posmatrane lokacije: u Rumi, Golubincima i Inđiji iznosi 60 km/h, dok u Žarkovcu, Putincima i Staroj Pazovi iznosi 80 km/h.

U cilju analize karakteristika brzina vozila pre i posle ulaska u naselje, u nastavku su prikazani rezultati merenja na uzorku od po 100 vozila na svakoj lokaciji, klasifikovani prema stepenu prekoračenja ograničene brzine na svim posmatranim lokacijama.

Dobijeni rezultati ukazuju na izražene razlike u ponašanju vozača između posmatranih lokacija. Na većini lokacija zabeležen je značajan udeo vozila koja ograničenje brzine prekoračuju za više od 20 km/h. Kao posebno nepovoljna izdvaja se lokacija Žarkovac, na kojoj čak 64% vozila prekoračuje ograničenu brzinu za više od 30 km/h. Nasuprot tome, na lokaciji Stara Pazova zabeleženo je znatno povoljnije ponašanje vozača, pri čemu se 98% vozila kretalo u okviru ograničenja brzine.

Tabela 2: Struktura vozila prema prekoračenju ograničene brzine u zoni 100 m pre ulaska u naselje

Lokacija	N	ograničenje	do 10 km/h	10 km/h - 20 km/h	20 km/h - 30 km/h	>30 km/h
Ruma	100	23%	24%	20%	18%	15%
Žarkovac	100	2%	3%	14%	17%	64%
Putinci	100	10%	11%	20%	30%	29%
Golubinci	100	3%	12%	25%	26%	34%
Inđija	100	25%	24%	23%	16%	12%
Stara Pazova	100	98%	2%	0%	0%	0%

U okviru Tabele 3. prikazana je struktura vozila prema opsegu prekoračenja ograničene brzine u zoni 100 m nakon ulaska u naselje.

Tabela 3: Struktura vozila prema prekoračenju ograničene brzine u zoni 100 m nakon ulaska u naselje

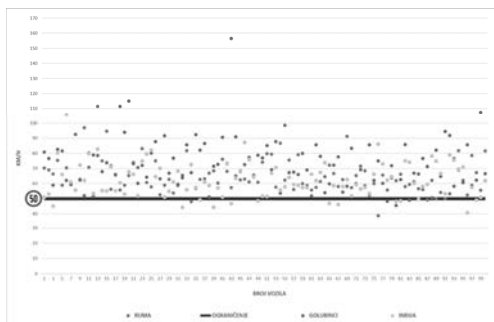
Lokacija	N	ograničenje	do 10 km/h	10 km/h - 20 km/h	20 km/h - 30 km/h	>30 km/h
Ruma	100	5%	32%	36%	18%	9%
Žarkovac	100	0%	22%	7%	6%	85%
Putinci	100	4%	9%	18%	30%	39%
Golubinci	100	3%	16%	28%	23%	30%
Inđija	100	13%	36%	26%	19%	6%
Stara Pazova	100	28%	45%	20%	5%	3%

Dobijeni rezultati brzine kretanja vozila nakon prolaska znaka za naselje ukazuju na izraženo prekoračenje brzine na većini posmatranih lokacija. Posebno se izdvaja lokacija Žarkovac, gde je čak 85% vozila prekoračilo ograničenje za više od 30 km/h, dok je na lokaciji Putinci ista kategorija zastupljena sa 39% vozila. Na lokaciji Stara Pazova uočava se najveći udeo vozila koja se kreću u okviru ograničenja ili sa manjim prekoračenjem, pri čemu je 28% vozila bilo u okviru ograničenja, a 45% sa prekoračenjem do 10 km/h.

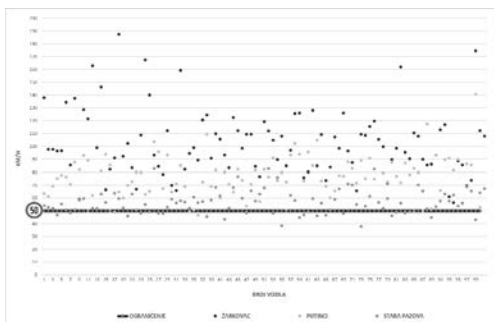
Izmerene brzine vozila nakon prolaska pored saobraćajnog znaka za početak naselja prikazane su na dva grafikona. Grafikon 1. obuhvata lokacije na kojima

ograničenje brzine neposredno pre ulaska u naselje iznosi 60 km/h, dok su na Grafikonu 2. prikazane lokacije sa ograničenjem brzine od 80 km/h pre ulaska u naselje.

Dobijeni rezultati potvrđuju da postavljanje saobraćajnog znaka za početak naselja samo po sebi ne obezbeđuje trenutno prilagođavanje brzine vozila novom režimu saobraćaja. Na većini posmatranih lokacija značajan deo vozača i nakon ulaska u naselje nastavlja kretanje brzinama većim od ograničenja (50 km/h). Neadekvatno prilagođavanje posebno je izraženo na lokacijama na kojima ograničenje neposredno pre ulaska u naselje iznosi 80 km/h, gde prosečan udeo vozila sa prekoračenjem većim od 30 km/h iznosi 42%, u odnosu na 15% na lokacijama sa prethodnim ograničenjem od 60 km/h. Kao najnepovoljnija lokacija izdvaja se Žarkovac, gde čak 85% vozila nakon ulaska u naselje prekoračuje dozvoljenu brzinu za više od 30 km/h, dok je značajno prekoračenje zabeleženo i u Putincima. Nasuprot tome, Stara Pazova ukazuje na najmanji udeo vozila sa izraženim prekoračenjem brzine, pri čemu se 28% vozila kretalo u okviru ograničenja, dok je svega 3% vozila sa prekoračilo ograničenje za više od 30 km/h.



Grafik 1: Izmerena brzine vozila u zoni 100 m nakon ulaska u naselje (Ruma, Golubinci, Indija)



Grafik 2: Izmerene brzine vozila u zoni 100 m nakon ulaska u naselje (Žarkovac, Putinci, Stara Pazova)

4 ZAKLJUČAK

Poređenjem rezultata terenskih merenja sa podacima o saobraćajnim nezgodama uočava se da ne postoji jednostavna direktna veza između intenziteta prekoračenja brzine na mestu merenja i broja nezgoda evidentiranih na pripadajućim deonicama, zbog čega apsolutan broj nezgoda sam po sebi nije dovoljan pokazatelj za neposredno poređenje nivoa bezbednosti posmatranih lokacija. Ovakav odnos je posebno uočljiv na primeru Stare Pazove, gde je, uprkos povoljnijim pokazateljima brzine, na deonici Stara Pazova–

Nova Pazova evidentiran najveći broj nezgoda sa nastradalim licima, dok Žarkovac karakteriše izrazito nepovoljno prilagođavanje brzine od strane vozača, bez istovremeno izrazitog broja nezgoda na predmetnoj deonici. Dobijeni rezultati ukazuju da na nivo bezbednosti saobraćaja u tranzicionim zonama u velikoj meri utiče i veličina saobraćajnog toka, kao i geometrijske karakteristike deonice, broj konfliktnih tačaka i drugih lokalnih uslova. Sa druge strane, izostanak direktne veze između stepena prekoračenja brzine i broja nezgoda ne umanjuje značaj brzine kao jednog od ključnih faktora bezbednosti saobraćaja. Veće brzine, odnosno veći stepen prekoračenja ograničenja, smanjuju raspoloživo vreme za pravovremenu reakciju vozača, dok u slučaju nastanka saobraćajne nezgode povećavaju rizik od najtežih posledica. Dobijeni rezultati potvrđuju potrebu za dodatnim merama upravljanja brzinama u tranzicionim zonama, posebno na lokacijama na kojima je utvrđen visok stepen prekoračenja brzine nakon ulaska u naselje.

U cilju unapređenja bezbednosti tranzicionih zona potrebno je primeniti mere kojima se vozaču blagovremeno i nedvosmisleno najavljuje promena saobraćajnog okruženja. Na lokacijama na kojima ograničenje brzine pre ulaska u naselje iznosi 80 km/h opravdano je razmotriti postepeno snižavanje ograničenja brzine, čime bi se omogućio postupniji prelazak na režim od 50 km/h. Dodatni efekat može se postići primenom poprečnih vibracionih traka, koje vizuelnim i zvučnim efektom usmeravaju pažnju vozača na potrebu za smanjenjem brzine. Na lokacijama sa izraženim prekoračenjima moguće je razmotriti i veštačku promenu geometrije puta, poput šikana ili drugih rešenja kojima se menja putanja kretanja i smanjuje mogućnost održavanja visokih brzina. Vidljivost ograničenja može se dodatno povećati primenom svetlosne signalizacije, odnosno treptaća, kao i postavljanjem saobraćajnih znakova na fluorescentne podloge sa retroreflektujućim svojstvima. Pored infrastrukturnih mera, značajnu ulogu imaju i kontinuirane edukativne aktivnosti usmerene na podsećanje vozača, uključujući i vozače sa višegodišnjim iskustvom, na značaj pravovremenog prilagođavanja brzine pri promeni saobraćajnog okruženja. Izbor i kombinovanje navedenih mera potrebno je prilagoditi karakteristikama svake lokacije, uz naknadno merenje brzina radi procene njihove efikasnosti.

LITERATURA

- [1] Aarts, L., van Schagen, I. (2006). Driving speed and the risk of road crashes: A review. *Accident Analysis & Prevention*, 38(2), 215–224
- [2] Lantieri, C. et al. (2015). Gateway design assessment in the transition from high to low speed areas
- [3] Hussain, Q. et al. (2021). Optical pavement treatments and their impact on speed and lateral position at transition zones: A driving simulator study. *Accident Analysis & Prevention*, 150, 105916.

SUMMARY**Analysis of Vehicle Speed Adjustment Characteristics at Settlement Entrances on State Roads**

Abstract: Vehicle speed is one of the most significant factors affecting road safety, particularly within transition zones between rural road sections and settlements. Despite clearly defined speed limits within settlements, drivers often fail to adequately adjust their operating speed when entering a settlement and adapting to traffic conditions typical of an urban environment. The aim of this study is to analyse vehicle speed adjustment patterns at settlement entrances along state roads, as well as to assess the safety performance of these transition zones through an analysis of road traffic crashes. The research is based on data collected through field speed measurements conducted at a number of locations with comparable traffic, geometric, and spatial characteristics, complemented by an analysis of traffic crashes recorded within the observed areas. Based on the results obtained, the relationship between driver behaviour in terms of speed adaptation and road safety performance was examined. The results provide a basis for formulating recommendations aimed at improving speed management and enhancing the safety performance of transition zones at settlement entrances.

Key words: speed, settlement, state road, road traffic crashes

Промене просечног годишњег дневног саобраћаја главних путних праваца ка суседним државама

Петар Ђапић, Саобраћајни институт ЦИП, Београд, petar.djapic@sicip.co.rs

Стефан Анђелковић, Саобраћајни институт ЦИП, Београд, stefan.andjelkovic@sicip.co.rs

Александар Радосављевић, Саобраћајни институт ЦИП, Београд, asa.radosavljevic@sicip.co.rs

Никола Глишовић, Саобраћајни институт ЦИП, Београд, nikola.glisovic@sicip.co.rs

Резиме: Просечни годишњи дневни саобраћај (у наставку ПГДС) путне деонице један је од квантификатора саобраћајног тока на њој. Саме вредности, исказане у просечном годишњем дневном броју возила која пређу неком деоницом, представљају основу за стручно сагледавање и тумачење историјских, достигнутих, али и планираних интезитета саобраћајних токова. Унутар податка о ПГДСу, класификација по различитим категоријама возила, омогућава дубљу анализу последица колебања вредности промене које су се десиле кроз време. Пратећи целокупни развој Републике Србије у протеклих 20 година, обухватајући и путну мрежу са саобраћајним токовима на њој, а кроз призму вредности и карактеристика ПГДСа, могуће је издвојено сагледати опште карактеристике саобраћајних токова на главним путним правцима ка суседним државама. У раду се анализирају вредности и карактеристике ПГДСа на деоницама државних путева које воде до суседних држава.

Кључне речи: ПГДС, структура тока, примарни правци, развој мреже државних путева

1 УВОД

Саобраћајно сагледавање стања на мрежи постојећих или планираних саобраћајница ослања се превасходно на анализе достигнутих/прогнозираних вредности обима саобраћаја, узимајући у обзир не само њихове квалитативне вредности (број возила у неком временском периоду) већ и квантитативне показатеље (нпр. структура саобраћаног тока, тј. бројчано и процентуално учешће појединих категорија возила). Наведено представља основу за сагледавање фундаменталних карактеристика саобраћајних токова, уз добијање најшире слике о стању на друмској мрежи, а као последица постојања центара атракције и продукције кретања, конекција између њих те реализација потреба за кретањима, генерисаних из широког дијапазона разлога.

Овакво сагледавање, представља стручно аргументовано промишљање о карактеристикама саобраћајних токова, те је квалитетна основа за извођење одређених закључака, у циљу свеобухватног сагледавања не само одлика саобраћајних токова већ и ширих дешавања: привредно-економске активности, покретљивост становништа, демографске промене, утицај политичких односа и др.

Просечни годишњи дневни саобраћај (у даљем тексту ПГДС) путне деонице један је од квантификатора саобраћајног тока на њој. Саме вредности, исказане у ПГДСу возила која пређу неком деоницом, представљају основу за стручно сагледавање и тумачење историјских, достигнутих али и планираних интезитета саобраћајних токова. Колебања ових вредности пресликавају промене које су се десиле кроз време и остају сведок утицаја ширег круга чинилаца на саобраћај: друштвене и привредно-економске промене, развој путне мреже, административна ограничења и др. Унутар податка о ПГДСу, класификација по категоријама возила, омогућава дубљу анализу последица поменутих промена.

Имајући на уму екстремно различита дешавања и околности које су се десиле на простору Републике Србије и у непосредном окружењу, у претходних преко 35 година, јасно је да су се и кроз ПГДС пресликале несвакидашње промене које нису уобичајене за стабилне и предвидљиве услове.

После периода 1990. – 2000. год. са атипичним стањем у држави (ратна дејства, санкције међународне заједнице, општи прекид већине привредних активности и сл.) што је резултирало неповољним променама у саобраћајним токовима огромних размера, уследила је консолидација а потом нормализација, свих друштвено-економских активности. Упоредо са њима дошло је до побољшања стања у саобраћају. Пратећи целокупни развој Р. Србије у протеклих 20 година, обухватајући и путну мрежу са саобраћајним токовима на њој, а кроз призму вредности и карактеристика ПГДСа, могуће је издвојено сагледати опште карактеристике саобраћајних токова на главним путним правцима ка суседним државама.

Рад је фокусиран на главне путне правце ка суседним државама са жељом да се чињенично анализирају промене у ПГДСу које су се јавиле наведеном периоду. При томе, посматрани су плански планирани правци повезивања аутопутским саобраћајницама са путном мрежом држава у окружењу. У појединим случајевима, плански дефинисани правци су били генератори израде пројекто-техничке документације а потом и изградње појединих деоница, док су карактеристике саобраћајних токова биле нижег нивоа важности при доношењу одлука.

Знајући стање изграђености путне мреже највишег ранга, односно плански препознате правце за даље унапређење путне мреже, у корелацији са достигнутим ПГДСом, следе могућности критичког осврта на досадашње спроведене активности односно прелиминарно сагледавање прокламованих приоритета у будућности. Стога су у раду анализирани вредности и карактеристике ПГДСа на деоницама државних путева које воде до следећих суседних држава:

- Мађарска, А1 и ИБ-11, Хоргош и Келебија,
- Румунија, ИБ-10, Ватин,
- Бугарска, А4, Градина,
- Северна Македонија, А1, Прешево,
- Црна Гора, ИБ-22, ИБ-23 и ИБ-29, Шпиљани, Гостун, Јабука,
- Босна и Херцеговина, ИБ-19 и ИБ-28, Сремска Рача и Котроман,
- Хрватска, А3 и ИА-120, Батровци и Шид.

Поред ознака државних путева, у набрајању су, респективно, дати и називи граничних прелаза, са циљем лакшег повезивања вредности ПГДСа са конкретним прелазима, који су уједно и репрезент путног правца до њих.

2 ИСТОРИЈСКИ ПОДАЦИ О ВРЕДНОСТИМА ПГДС

Подаци који су анализирани на обухваћених 12 деоница државних путева преузети су из годишњих публикација Путева Србије д.о.о. "Бројање саобраћаја на

државним путевима Републике Србије", за период 2006.-2025. Услед обимности података, у раду су приказане основне вредности ПГДСа и анализом добијени показатељи.

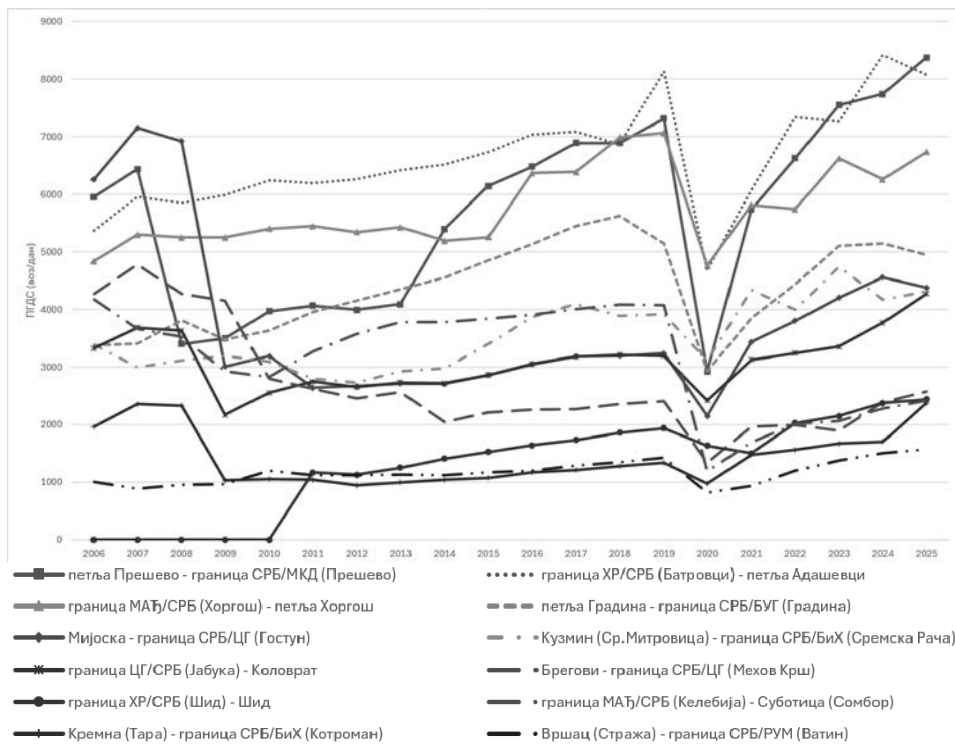


График 1: Посматране деонице, ПГДС (воз/дан), 2006.-2025.год.

Графиком 1. су приказане вредности ПГДСа посматраних деоница, у периоду од 2006. год. до 2025.год. На њему се јасно препознају утицаји економских поремећаја и ограничења у кретањима. За промене услед прелаза начина настанка података односно последице раздруживања морали би се посматрати детаљни табеларни подаци. Приметне су три групе достигнутих вредности ПГДСа на прилазима граничним прелазима (опадајућим редоследом, воз/дан):

- Прешево 8380 / Батровци 8081 / Хоргош 6738,
- Градина 4945 / Гостун 4377 / Сремска Рача 4314 / Јабука 4273
- Шпиљани 2577 / Шид 2440 / Келебија 2416 / Котроман 2375 / Ватин 1575.

Уколико се имају на уму начелни ставови да се аутопутске деонице формирају за вредности ПГДСа које прелазе 10 000 - 12 000 воз/дан, а пратећи и остварене просечне годишње стопе пораста саобраћаја, јасно је да у достигнутим токовима на граничним деоницама још увек не постоје такви услови. Наравно, сезонске неравномерности се јављају али оне нису пресудни разлог за доношење одлуке о изградњи пуног аутопутског профила. Потребно је имати на уму и да те неравномерности утичу на коначне веће вредности ПГДСа.

Табела 1: Вредности ПГДСа и добијени показатељи

ознака државног пута и назив граничног прелаза	ПГДС (воз/дан) 2006.	ПГДС (воз/дан) 2025.	АПГКПОС	ПГКПОС	АПГСПОС (%)	ПГСПОС (%)	МИНКПОС	МАКСКПОС	МИНСПОС (%)	МАКССПОС (%)
IA-1, Хоргош	4836	6738	1,02	1,39	2,46	1,76	0,67	1,22	-32,58	22,04
IA-1, Прешево	5956	8380	1,06	1,41	6,33	1,81	0,40	1,96	-60,00	96,07
IA-3, Батровци	5373	8081	1,03	1,50	3,32	2,17	0,57	1,30	-42,53	30,01
IA-4, Градина	3381	4945	1,03	1,46	3,18	2,02	0,57	1,31	-42,98	31,39
IB-10, Ватин	1004	1575	1,04	1,57	3,60	2,40	0,57	1,28	-42,63	27,85
IB-11, Келебија	4174	2416	1,01	0,58	0,60	-2,84	0,29	1,42	-70,83	42,42
IB-19, С. Рача	3384	4314	1,02	1,27	2,08	1,29	0,80	1,39	-20,50	39,44
IB-22, Шпиљани	4268	2577	0,99	0,60	-0,67	-2,62	0,55	1,47	-44,55	46,90
IB-23, Гостун	6259	4377	1,01	0,70	0,84	-1,86	0,43	1,60	-56,50	59,65
IB-28, Котроман	1964	2375	1,04	1,21	3,62	1,01	0,44	1,51	-55,75	51,23
IB-29, Коловрат	3326	4273	1,03	1,28	2,52	1,33	0,60	1,29	-40,22	29,23
IIA-120, Шид	1170	2440	1,06	2,09	5,95	5,39	0,84	1,35	-15,65	34,77

Табела 1 садржи следеће вредности, за сваку од посматраних деоница:

- ПГДС (воз/дан) за 2006.год.⁶ и 2025.год.,
- АПГКПОС - аритметички просечни годишњи коефицијент пораста обима саобраћаја (обухвата све појединачне вредности коефицијената по годинама),
- ПГКПОС - просечни годишњи коефицијент пораста обима саобраћаја (однос вредности ПГДСа прве и последње године),
- АПГСПОС (%) - аритметичка просечна годишња стопа пораста обима саобраћаја (обухвата све појединачне вредности стопа по годинама),
- ПГСПОС (%) - просечна годишња стопа пораста обима саобраћаја (стопа пораста према вредностима ПГДСа прве и последње године),
- МИНКПОС – минимални коефицијент пораста саобраћаја⁷,
- МАКСКПОС – максимални коефицијент пораста саобраћаја⁷,
- МИНСПОС (%) – минимална стопа пораста саобраћаја⁷,
- МАКССПОС (%) – максимална стопа пораста саобраћаја⁷.

Упоредо са табелом 1 а зарад потпунијег сагледавања, у наставку је дат и осврт за сваку од деоница државних путева по питању начина настанка података ПГДСа током посматраног периода:

1. IA-1, граница МАЂ/СРБ (Хоргош) – петља Хоргош – већински подаци настали интерполацијом (у даљем тексту ИНТ), од 2023.год. аутоматски бројач са структуром (у даљем тексту АБС) АБС 2089/90,
2. IA-1, петља Прешево- граница СРБ/МКД (Прешево) - старији подаци настали ИНТ, од 2015.год. АБС 1319/20,

⁶ 2011.год. је прва година са подацима за деоницу на државном путу IIA-120

⁷ коефицијент/стопа између две узастопне године

3. IA-3, граница ХР/СРБ (Батровци) -петља Адашевци - подаци настали радом наплатне станице (НП 41) АБС 2030/31,
4. IA-4, петља Градина - граница СРБ/БУГ (Градина) - старији подаци настали радом АБС 225 и АБС 1190, од 2017.год. ИНТ,
5. IB-10, Вршац (Стража) - граница СРБ/РУМ (Ватин) - старији подаци настали радом аутоматског бројача (у даљем тексту АБ) АБ 010, односно АБС 010 и АБС 2006,
6. IB-11, граница МАЂ/СРБ (Келебија) - Суботица (Сомбор) - старији подаци настали радом АБ 023, АБС 023 и АБС 2059, од 2020.год. (изузев 2023. када је радио АБС 2108) ИНТ,
7. IB-19, Кузмин (Ср.Митровица) - граница СРБ/БиХ (Сремска Рача) - старији подаци настали радом АБ 033, односно АБС 2053, од 2024.год. ИНТ,
8. IB-22, Брегови - граница СРБ/ЦГ (Мехов Крш) - старији подаци настали ИНТ, од 2015.год. радом АБС 1318,
9. IB-23, Мијоска - граница СРБ/ЦГ (Гостун) - старији подаци настали ИНТ, у периоду 2009.-2023.год. радом АБС 282 и АБС 1208, потом поново ИНТ,
10. IB-28, Кремна (Тара) - граница СРБ/БиХ (Котроман) - старији подаци настали ИНТ, у периоду 2009.-2010.год. и 2012.-2023. радом АБС 279 и АБС 1287, потом поново ИНТ,
11. IB-29, граница ЦГ/СРБ (Јабука) – Коловрат - старији подаци настали ИНТ, у периоду 2011.-2023.год. радом АБС 1056, потом поново ИНТ,
12. IB-29, граница ХР/СРБ (Шид) – Шид - подаци 2011.год. и 2020. год. настали ИНТ, остали радом АБС 2074 (подаци постоје од 2011.год.)

На основу презентоване анализе, јасно је да је на посматраним деоницама у обухваћеном периоду било великих промена при чему су основни разлози:

- економски поремећаји светских размера око 2008.год.,
- ограничења у кретањима током пандемије изазване вирусом КОВИД 19 (2020.год.),
- прелази између начина настанка података (ИНТ – АБС).

Специфичност је и кретање вредности ПГДСа на три контактне деонице ка Црној Гори где је, након престанка постојања заједничке државе дошло до приметног смањења обима саобраћаја а нарочито ТВ и АВ.

График 2. је приказ збирне вредности ПГДСа три путна правца који воде ка Црној Гори, где је приметан пад услед раздруживања, заједно са утицајем светске економске кризе.



График 2: Издвојене деонице, везе са Црном Гором, ПГДС (воз/дан), 2006.-2025.год.

Збирни показатељи, за те три деонице би били:

- ПГДС са почетних 13853 воз/дан достигао 11227 воз/дан,
- аритметички просечни годишњи коефицијент пораста обима саобраћаја 1.00, посматрајући прву и последњу годину просечни годишњи коефицијент је 0.81,
- аритметичка просечна годишња стопа пораста обима саобраћаја 0.34%, посматрајући прву и последњу годину просечна годишња стопа је -1.10%,
- минимални коефицијент пораста обима саобраћаја 0.63 док је максимални 1.44,
- минимална стопа пораста обима саобраћаја -37.04% док је максимална 44.30%.

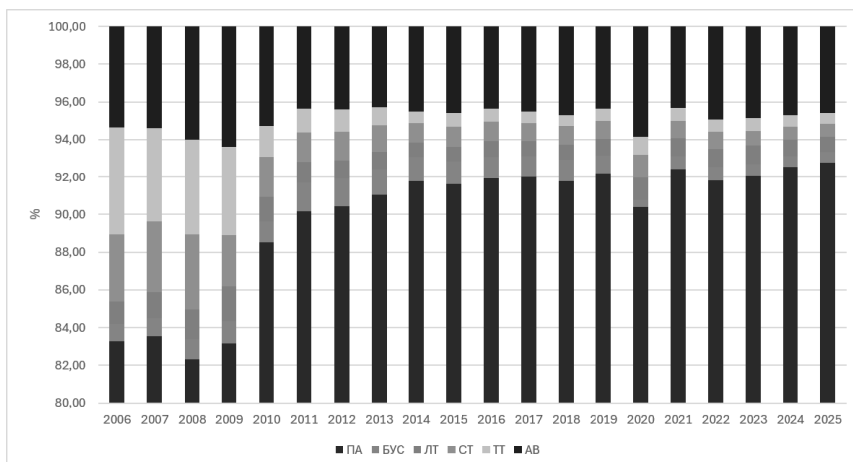


График 3: Издвојене деонице, везе са Црном Гором, структура тока (%), 2006.-2025.год.

Поменута промена структуре тока на трима додатно издвојеним деоницама може се сагледати из графика 3., у којем је приказана структура обједињених података. Приметна је промена након раздруживања и поремећаја око 2008.год., где се учешће ПА са око 83%, увећало на око 92% док је учешће категорија комерцијалних возила, превасходно ТТВ опало, сводећи се на збирних ТТВ+АВ, са око 11% на око 5% (са максималних 1640 воз/дан на око 580 воз/дан)

3 ЗАКЉУЧАК

Сагледавајући остварене вредности ПГДСа на деоницама које су примарни друмски правци контаката Србије са земљама у окружењу, јасно се издвајају три нивоа достигнутих токова. Евидентно је да везе ка југу (Прешево) односно ка западу и северу (Батровци и Хоргош) прате и европску поделу коридорских праваца, те су уједно и три најоптерећеније друмске везе са окружењем (ПГДС вредности 8380/8081/6738 воз/дан). Унеколико се издваја крак ка Бугарској (Градина) на којем је достигнуто незнатно мање од 5 000 воз/дан. Јасно је да се на њима јављају сезонске неравномерности, чија би анализа била предмет посебног, детаљног сагледавања. Начело, током година, могло се приметити да унеколико опада учешће далеких транзитних кретања категорије ПА (преусмерење корисника млађих генерација на прихватљиве алтернативе авионског превоза у low-cost аранжманима), што је анулирано током померања насталих услед COVID-19 и непредвидљивости реализације авиопревоза. Истовремено, промена економског стања у Србији довела је до повећања кретања наших грађана изван територије државе.

Анализа је указала да су се јавиле значајно различите вредности параметара који су издвојени:

- аритметички просечни годишњи коефицијент пораста обима саобраћаја од 0.99 до 1.06, посматрајући прву и последњу годину просечни годишњи коефицијент је од 0.58 до 2.09,
- аритметичка просечна годишња стопа пораста обима саобраћаја од -0,67% до 6,33%, посматрајући прву и последњу годину просечна годишња стопа је од -2.84% до 5.39%,
- минимални коефицијент пораста обима саобраћаја 0.29 док је максимални 1.96,
- минимална стопа пораста обима саобраћаја -70.83% док је максимална 96.07%,

Претходно су поменути основни разлози већих промена које су приметне у посматраном периоду. Евидентно је да се при анализи достигнутих токова и промена које су се у прошлости дешавале у њима, поред саобраћајних разлога (нпр. изграђеност мреже, привремене обуставе и преусмерења, дуготрајни радови и сл.) морају у обзир узимати и фактори који нису директно саобраћајни али свакако имају утицаја на саобраћајне токове. Само на такав начин се може доћи до адекватног схватања забележених промена, укључујући и оних које на први увид изгледају потпуно нејасне и изненађујуће. Аутори издвајају промену начина настанка података (ИНТ – АБС), где се у сагледавањима мора имати стручни став у односу на податке

добијене процесом интерполације (суседне деонице са АБС, контролно бројање, подаци из периода када је радио АБС и сл.).

Слично, у случајевима са мањим вредностима ПГДСа, условно и мањи број возила доводи до битних процентуалних промена, како у сагледавању годишњих вредности ПГДСа тако и у структури тока. Што мора бити адекватно анализирано, пре даљих поступака у којима се ослањамо на историјске податке о променама у броју и структури саобраћајног тока.

Потом следи процес прогнозирања, водећи рачуна о протеклим дешавањима и евидентираним последицама кроз вредности и структуру ПГДСа, и уводећи делове са социо-економским показатељима у будућности, односно развојем мреже друмских саобраћајница.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Бројање саобраћаја на државним путевима Републике Србије (2006.-2025.), Путеви Србије д.о.о.

SUMMARY

Changes in average annual daily traffic on main road routes to neighboring countries

Abstract: The average annual daily traffic (hereinafter referred to as AADT) of a road section is one of the quantifiers of the traffic flow on it. The values themselves, expressed in the average annual daily number of vehicles that pass a section, represent the basis for an expert assessment and interpretation of historical, achieved, and planned traffic flow intensities. Within the AADT data, classification by different vehicle categories enables a deeper analysis of the consequences of fluctuations in values and changes that have occurred over time. By following the overall development of the Republic of Serbia in the past 20 years, including the road network with traffic flows on it, and through the prism of the AADT values and characteristics, it is possible to separately examine the general characteristics of traffic flows on the main road routes to neighboring countries. The paper analyzes the AADT values and characteristics on sections of state roads leading to neighboring countries..

Key words: AADT, flow structure, primary routes, development of the state road network

Утицај изградње деонице аутопута А2 Прељина – Паковраће на услове саобраћаја на обилазници Чачка

Олга Ћирковић, olgacirkovic7@gmail.com

Милош Тубић, Saobraćajni fakultet, Beograd, m.tubic@sf.bg.ac.rs

Резиме: Изградња нових деоница аутопута доводи до нове расподеле саобраћајних токова и промена услова саобраћаја на постојећој путној мрежи. Пуштањем у експлоатацију деонице аутопута А2 „Милош Велики” Прељина – Паковраће 2022. године, значајан део транзитних токова преусмерио се са обилазнице Чачка на аутопут. Циљ овог рада је анализа утицаја изградње предметне деонице аутопута на услове у саобраћајном току на обилазници Чачка. Истраживање се заснива на упоредној анализи просечног годишњег дневног саобраћаја (ПГДС) на деоницама обилазнице у периоду пре и након изградње деонице аутопута, са посебним освртом на промене у 2022. години, након отварања деонице аутопута. Јавно доступни подаци о саобраћају указују на значајно смањење саобраћајног оптерећења на обилазници Чачка у 2022. години, од око 4.500 воз/дан, односно приближно 25% у односу на претходну годину. Овакве промене у саобраћајним захтевима анализирани су са аспекта ефеката побољшања услова саобраћаја на деоницама обилазнице, односно кроз одабране показатеље нивоа услуге. Анализа у зависности од структуре саобраћајног тока показала је да је нова расподела присутна и код комерцијалних возила. Ефекти насталих промена додатно су сагледани кроз анализу трошкова времена путовања. Поређење реалног и хипотетичког сценарија показало је да су изградњом деонице аутопута остварени повољнији услови у односу на очекивано стање без њене изградње. Такође, смањење трошкова времена путовања у реалном у односу на хипотетички сценарио, од приближно 40 милиона евра у посматраном периоду, указује на значајне економске користи изградње ове деонице. Добијени резултати могу послужити као основа за даље анализе промена функционалне улоге градских обилазница услед изградње нових деоница аутопутева и расподеле саобраћајних токова.

Кључне речи: расподела саобраћаја, аутопут, градска обилазница, ниво услуге, трошкови времена путовања.

1 УВОД

Аутопутеви представљају категорију путева са најповољнијим техничко-експлоатационим карактеристикама, које омогућавају велике брзине кретања, краће време путовања и висок ниво безбедности саобраћаја. Поред директних ефеката на услове путовања, изградња аутопутева утиче на расподелу саобраћајних токова и функционалну улогу постојеће путне мреже, као и на развој постојећих и настанак нових друштвених и економских активности у њиховој утицајној зони.

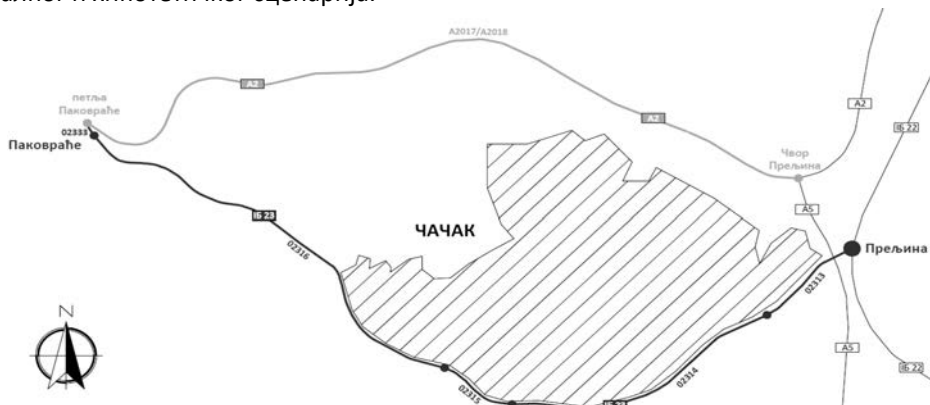
Државни пут IА реда А2 „Милош Велики”, стратешки представља веома важну саобраћајницу у путној мрежи Републике Србије. Деоница аутопута од петље

Прељина до петље Паковраће (A2017/A2018), дужине 11,631 km, пуштена је у експлоатацију у јануару 2022. године. Њеном изградњом део саобраћајних токова који се претходно кретао постојећом путном мрежом, односно обилазницом града Чачка, преусмерен је на аутопут што је довело до промена у величини и структури саобраћајног оптерећења, услова у саобраћајном току и трошковима времена путовања.

Утицај изградње предметне деонице аутопута анализиран је на делу државног пута IB реда број 23 који представља обилазницу Чачка. Државни пут IB реда број 23 представља један од значајнијих путних праваца у западном делу Републике Србије. Према референтном систему путне мреже Републике Србије из 2026. године овај пут повезује Чачак, Пожегу, Ужице, Златибор, Нову Варош и Пријепоље са државном границом са Црном Гором код Гостуна.

За потребе анализе дефинисана су два сценарија: реални сценарио који представља остварено стање након изградње и пуштања у експлоатацију деонице Прељина – Паковраће и други, хипотетички сценарио, који представља процену стања на постојећој путној мрежи у случају да предметна деоница аутопута није изграђена. Као базна година усвојена је 2021. година, јер представља последњу годину пре пуштања деонице аутопута петља Прељина – петља Паковраће у експлоатацију.

Циљ овог рада јесте да се квантификују ефекти изградње деонице аутопута A2 Прељина – Паковраће на расподелу саобраћајних токова и услове саобраћаја на обилазници Чачка. Ефекти су сагледани кроз промену саобраћајног оптерећења, транспортног рада, нивоа услуге, као и трошкова времена путовања, поређењем реалног и хипотетичког сценарија.



саобраћајног тока анализирани су у периоду од 2021. до 2025. године, при чему је 2021. усвојена као базна. За потребе формирања хипотетичког сценарија извршена је прогноза ПГДС-а на анализираним деницама пута 23, на основу просечних стопа раста саобраћаја утврђених анализом промена ПГДС-а у периоду од 2015. до 2021. године. Приликом утврђивања стопа раста, подаци из 2020. године нису узети у обзир због специфичних промена у саобраћајном оптерећењу насталих услед пандемије вируса COVID-19. На тај начин омогућено је поређење реалног и хипотетичког сценарија.

Ефекти расподеле саобраћаја сагледани су кроз промене просечног пондерисаног ПГДС-а и укупног годишњег транспортног рада у утицајној зони. Наведени показатељи анализирани су за укупан саобраћајни ток, као и посебно за комерцијална возила, како би се додатно сагледао утицај изградње деонице аутопута на преумеравање ових категорија возила.

За оцену услова у саобраћајном току примењен је унапређени „Новокласични“ поступак за анализу капацитета и нивоа услуге [2]. Поступак се заснива на утврђивању практичног капацитета деоница у зависности од њених техничко-експлоатационих карактеристика и карактеристика саобраћајног тока. На деоницама 02314, 02315 и 02316 идентификован је утицај рада светлосних сигнала на капацитет, па је сходно томе у примењену методологију имплементиран адекватан редукциони фактор капацитета, сходно детаљности анализе. Ниво услуге одређен је на основу два критеријума: однос меродавног протока и капацитета (q_m/C) и експлоатационе брзине (V_e). Анализа је спроведена за базну 2021. годину, као и за реални и хипотетички сценарио 2025. године.

Економски ефекти изградње деонице аутопута сагледани су кроз упоредну анализу трошкова времена путовања путника и робе за дефинисане сценарије и одређивање остварених користи у периоду након пуштања деонице аутопута у експлоатацију, у реалном у односу на хипотетички сценарио. Трошкови времена путовања прорачунати су применом HDM-4 модела (*Highway Development and Management*) [3], заснованог на вредновању времена проведеног у путовању за путнике и робу. За прорачун су коришћени подаци о броју возила, дужини деоница, експлоатационој брзини по категоријама возила, структури путовања према сврси и јединичној вредности времена путника. Општи облик обрасца за прорачун трошкова времена путовања гласи:

$$T_{vp_{ijk}} = 365 \times q_{ij} \times \frac{l_k}{V_{ijk}} \times n_{ijk} \times C \quad (1)$$

$$C_{C_{ij}} = \%Sl_{ij} \times C_{Sl_{ij}} + \%Ost_{ij} \times C_o \quad (2)$$

Прорачун је извршен за одговарајућу категорију возила, годину и деоницу, узимајући у обзир дневни број возила q , дужину деонице l , просечну брзину V , просечан број путника у возилу n и просечну вредност часа путника C_c формирану у зависности од службених и осталих сврха путовања и припадајућих вредности времена. Подаци о просечној нето заради, који представљају основ за одређивање вредности времена путника, преузети су из базе података Републичког завода за статистику [4], док су остали потребни параметри усвојени на основу релевантних студија и расположивих статистичких података.

3 РАСПОДЕЛА САОБРАЋАЈНИХ ТОКОВА У УТИЦАЈНОЈ ЗОНИ

Промене у расподели саобраћајних токова након пуштања у саобраћај деонице аутопута А2 Прељина – Паковраће сагледане су на основу просечног пондерисаног ПГДС-а на анализираним деоницама пута 23 и на деоници аутопута А2 2017/2018 (Графикон 1). Просечан пондерисани ПГДС на обилазници смањен је са 17.586 воз/дан у 2021. години на 13.062 воз/дан у 2022. години непосредно након отварања деонице аутопута. У наредном периоду, његова вредност остала је на приближно истом нивоу и у 2025. години износила је 13.048 воз/дан. Са друге стране, на деоници аутопута ПГДС је континуирано растао, са 7.271 воз/дан у 2022. години на 10.103 воз/дан у 2025. години. Иако саобраћајно оптерећење аутопута у 2025. години није достигло просечан пондерисани ПГДС пута 23, разлика између њих се током анализираних периода значајно смањила.

Поређење са хипотетичким сценаријем додатно указује на ефекат нове расподеле. У случају да деоница аутопута није изграђена, просечан пондерисани ПГДС на анализираним деоницама пута 1Б 23 би у 2025. години достигао 20.614 воз/дан.

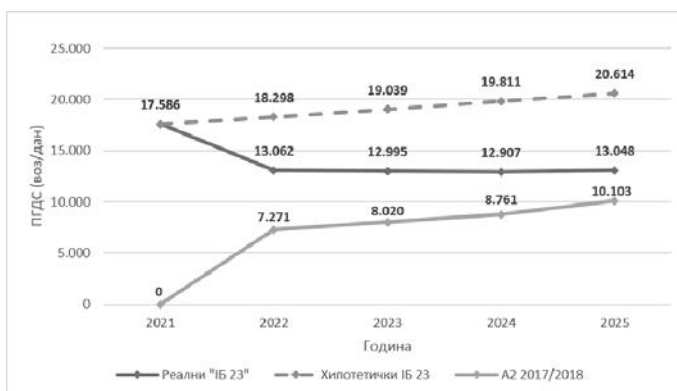


График 1. Упоредна анализа просечног пондерисаног ПГДС-а за период 2021-2025.

Расподела саобраћајних токова додатно је анализирана кроз транспортни рад, којим се поред величине саобраћајног оптерећења, узима у обзир и дужина деонице (Графикон 2).

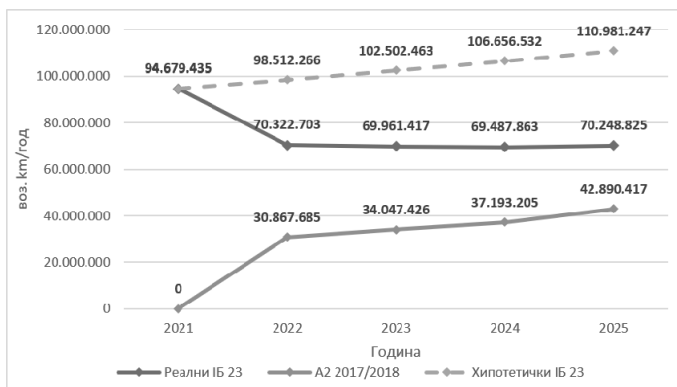


График 2. Упоредна анализа транспортног рада за период 2021-2025.

У базној 2021. години целокупан транспортни рад у анализираној зони реализован је на путу 23 и износио је 94,68 милиона воз. km/год (100%). Већ у првој години експлоатације нове деонице, на аутопуту је остварено 30,87 милиона воз. km, односно око 30% укупног транспортног рада у утицајној зони. У наредним годинама транспортни рад на аутопуту континуирано је растао, али до 2025. године још увек није преузео доминантан део укупног транспортног рада. За разлику од резултата анализе утицаја изградње аутопута А2 на државни пут IB реда бр. 22 [5], где је на потезу Београд – Прељина у 2024. години на аутопуту реализовано око 67% укупног транспортног рада у анализираној зони, на деоници Прељина – Паковраће његово учешће у 2025. години износило је око 38%. Ипак транспортни рад на аутопуту је у сталном порасту, што указује на постепено повећање улоге аутопута у расподели саобраћаја у утицајном подручју.

У случају комерцијалних возила, такође је уочена изражена прерасподела токова. У 2022. години на путу 23 реализовано је око 62% укупног транспортног рада комерцијалних возила у анализираној зони, а на аутопуту око 38%, док је 2025. године учешће аутопута повећано на 43%, а пута 23 смањено на 57%. У односу на хипотетички сценарио, транспортни рад комерцијалних возила на путу 23 у 2025. години био је мањи за око 47%. Нова расподела комерцијалних возила након пуштања у експлоатацију деонице аутопута допринела је растерећењу обилазнице Чачка и побољшању услова у саобраћајном току, уз истовремено смањење негативних утицаја теретног саобраћаја на становништво и квалитет живота у непосредном окружењу.

4 АНАЛИЗА УСЛОВА У САОБРАЋАЈНОМ ТОКУ

Анализа капацитета и нивоа услуге спроведена је применом унапређеног „Новокласичног“ поступка, при чему су услови у саобраћајном току вредновани на основу критеријума q_m/C и V_e . Анализа је извршена за базу 2021. годину, као и за реални и хипотетички сценарио 2025. године, а резултати су приказани у Табели 1.

Табела 1. Резултати анализе нивоа услуге на деоницама пута IB 23 и А2 по сценаријима

Деон.	Vsl (km/h)	C (воз/h/oc)	2021. год. (Базна год.)				2025. год. (P.C.)				2025. год. (X.C.)			
			qm/C	NU	Ve	NU	qm/C	NU	Ve	NU	qm/C	NU	Ve	NU
02313	81	2.278	0,83	E	66	D	0,81	E	66	D	0,97	F	65	D
02314	74	1.560*	1,17	F	38	F	0,95	E	63	D	1,35	F	24	F
02315	72	1.296*	1,19	F	34	F	0,76	D	63	D	1,39	F	22	F
02316	74	1.567*	0,88	E	63	D	0,54	D	67	D	1,02	F	59	E
02333	63	1.869	0,57	D	56	E	0,67	D	55	E	0,67	D	55	E
A2017/ A2018	125	4.192 (по смеру)	/				0,17	A	118	A	/			

*Капацитет је редукован због утицаја светлосних сигнала

У овој анализи посебно се издвајају деонице 02314 и 02315, које карактерише највеће учешће локалног саобраћаја и које су у базној 2021. години функционисале са нивоом услуге F према оба анализирана критеријума. Након изградње деонице

аутопута и преумеравања дела саобраћајног тока, у реалном сценарију 2025. године остварени су повољнији нивои услуге (Е и D). Насупрот томе, у хипотетичком сценарију обе деонице би задржале ниво услуге F према оба критеријума, уз степен искоришћења капацитета већи од 1 и значајно ниже експлоатационе брзине. Повољнији услови у реалном сценарију уочени су и на деоници 02316, док су на осталим деоницама промене мање изражене. Деоница аутопута А2 Прељина – Паковраће у 2025. години функционише са нивоом услуге А према оба критеријума, уз значајну резерву у капацитету ($q_m/C=0,17$) и високу експлоатациону брзину ($V_e = 118 \text{ km/h}$).

Добијени резултати указују да је преумеравање дела саобраћајних токова на аутопут допринело растерећењу и побољшању услова у току, што је посебно значајно на деонцама које карактерише израженије учешће локалних токова.

5 ТРОШКОВИ ВРЕМЕНА ПУТОВАЊА

Трошкови времена путовања прорачунати су за реални и хипотетички сценарио у периоду од 2021. до 2025. године. Добијени резултати приказани су на Графику 3.

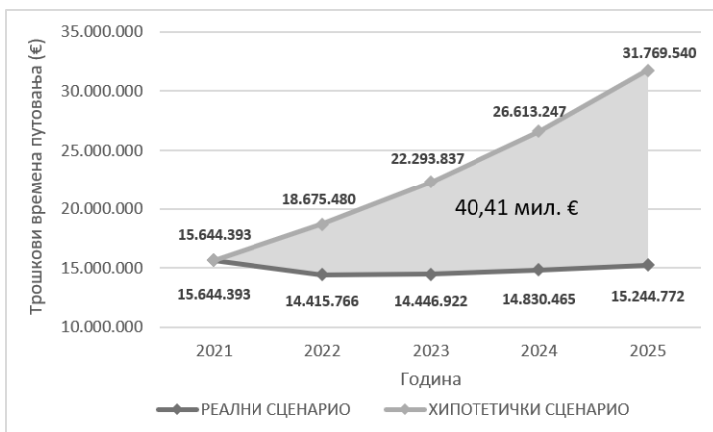


График 3. Трошкови времена путовања у реалном и хипотетичком сценарију

У базној 2021. години трошкови времена путовања једнаки су у оба сценарија, с обзиром на то да деоница Прељина – Паковраће још није била у експлоатацији. Након њеног отварања, у 2022. години долази до смањења трошкова у реалном сценарију услед преумеравања значајног дела саобраћаја на аутопут. У наредним годинама разлика између сценарија се повећава, тако да у 2025. години трошкови времена путовања износе 15,24 милиона € у реалном, односно 31,77 милиона € у хипотетичком сценарију, што значи да би без изградње предметне деонице аутопута били више него двоструко врећи.

Посматрано за цео анализирани период, трошкови времена путовања износили су приближно 74,58 милиона €, док би у хипотетичком сценарију износили 115,00 милиона €. Разлика од 40,41 милион €, односно око 35%, представља процењену економску корист остварену услед смањења трошкова времена путовања након изградње деонице аутопута Прељина – Паковраће.

6 ЗАКЉУЧАК

Циљ рада био је да се сагледају промене у функционисању путне мреже у зони Чачка након пуштања у саобраћај деонице аутопута А2 Прељина-Паковраће, са посебним освртом на расподелу саобраћајних токова, ниво услуге и економске ефекте по основу трошкова времена путовања путника и робе.

Резултати су показали значајну прерасподелу саобраћајних токова у утицајној зони. Просечан пондерисани ПГДС на деоницама пута ИБ 23 смањен је за око 25% већ у првој години након отварања аутопута. Иако транспортни рад на аутопуту континуирано расте, пут ИБ 23 је у 2025. години задржао веће учешће у укупном транспортном раду на посматраним деоницама, са око 62%, у односу на 38% на аутопуту.

Анализа нивоа услуге показала је побољшање услова у саобраћајном току, посебно на деоницама са израженијим учешћем локалних токова. Најзначајнији ефекти уочени су на деоницама 02314 и 02315, на којима су у реалном сценарију остварени повољнији нивои услуге у односу на хипотетички сценарио без изградње аутопута. Истовремено, деоница аутопута Прељина-Паковраће функционише са високим нивоом услуге и значајном резервом у капацитету.

Позитивни економски ефекти потврђени су анализом трошкова времена путовања. У 2025. години трошкови у хипотетичком сценарију били би више него двоструко већи од остварених у реалном сценарију, док процењена кумулативна корист за период 2021-2025. године износи 40,41 милиона €. С обзиром на то да су квантификоване искључиво користи по основу смањења трошкова времена путовања путника и робе, добијени износ представља само један део економских ефеката изградње анализиране деонице.

Будућа истраживања требало би усмерити ка свеобухватнијој анализи трошкова и користи, која би обухватила и трошкове експлоатације моторних возила, одржавања путне инфраструктуре, саобраћајних незгода и утицаја на животну средину. Посебан правац представља спровођење потпуне Ex-post анализе након најмање десет година експлоатације, ради сагледавања дугорочних ефеката и свеобухватног друштвено-економског вредновања пројекта.

Сумарно посматрано, изградња деонице аутопута А2 Прељина-Паковраће допринела је растерећењу обилазнице Чачка, побољшању нивоа услуге и смањењу трошкова времена путовања. Преузимањем значајног дела транзитних токова, аутопут омогућава повољније услове за даљинска кретања, док постојећа путна мрежа у већој мери задржава функцију опслуживања локалних и изворно-циљних токова. Добијени резултати указују на значај развоја мреже аутопутева за прерасподелу саобраћајних токова и промену функционалне улоге постојећих градских обилазница.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Предузеће „Путеви Србије” д.о.о. (2015-2025), „Бројање саобраћаја на државним путевима Републике Србије 2015-2025”.
- [2] Кузовић, Љ. (2000), Капацитет и ниво услуге друмских саобраћајница, Саобраћајни факултет, Београд. Ниво услуге друмских саобраћајница, Саобраћајни факултет, Београд.

- [3] World Road Association (PIARC), HDM-4 – The Highway Development and Management Series, Paris, France, 2004.
- [4] Републички завод за статистику (2026), База података, „Просечне зараде по запосленом, дцембар 2025.“, подаци за период I-XII 2025.
- [5] Тубић, М., Липовац, К., Степановић, Н. (2026). Утицај изградње аутопута на ефикасност и безбедност саобраћаја – студија примера изградње аутопута А2 од Београда до Прељине., Зборник радова 21. Међународне конференције „Безбедност саобраћаја у локалној заједници“, Врњачка Бања, Србија, стр. 167–182.

SUMMARY

Impact of the Construction of the A2 Preljina – Pakovraće Motorway Section on Traffic Conditions on the Čačak Bypass

Abstract: The construction of new motorway sections leads to the redistribution of traffic flows and changes in traffic conditions on the existing road network. Following the opening of the A2 “Miloš Veliki” motorway section from Preljina to Pakovraće in 2022, a significant share of transit traffic was diverted from the Čačak bypass to the motorway. The aim of this paper is to analyse the impact of the construction of this motorway section on traffic flow conditions along the Čačak bypass. The research is based on a comparative analysis of Annual Average Daily Traffic (AADT) on the bypass sections before and after the construction of the motorway section, with particular emphasis on the changes observed in 2022 following its opening. Publicly available traffic data indicate a significant reduction in traffic volumes on the Čačak bypass in 2022, amounting to approximately 4,500 vehicles/day, or about 25% compared with the previous year. These changes in traffic demand were analysed in terms of their effects on traffic conditions along the bypass sections using selected Level of Service (LOS) indicators. The analysis of traffic flow composition showed that redistribution also occurred in commercial vehicle traffic. The effects of these changes were further assessed through an analysis of travel time costs. A comparison of the actual and hypothetical scenarios showed that the construction of the motorway section resulted in more favourable traffic conditions compared with the expected situation without its construction. Furthermore, the reduction in travel time costs in the actual scenario compared with the hypothetical scenario, amounting to approximately EUR 40 million over the analysed period, indicates significant economic benefits associated with the construction of this motorway section. The obtained results may provide a basis for further analyses of changes in the functional role of urban bypasses resulting from the construction of new motorway sections and the redistribution of traffic flows.

Key words: traffic flow distribution, motorway, urban bypass, level of service, travel time costs.

Uticaj saobraćajnog opterećenja na promenu ravnosti kolovoza u toku eksploatacionog veka kolovozne konstrukcije⁸

Marko Bajić, „Putevi Srbije“ d.o.o, Beograd, marko.bajic@putevi-srbije.rs
 Zorana Zorić, „Putevi Srbije“ d.o.o, Beograd, zorana.zoric@putevi-srbije.rs
 Ivana Andrijanić, „Putevi Srbije“ d.o.o, Beograd, ivana.andrijanic@putevi-srbije.rs
 Ivana Kuljanin, „Putevi Srbije“ d.o.o, Beograd, ivana.kuljanin@putevi-srbije.rs

Rezime: Poduzna ravnost predstavlja jedan od najznačajnijih pokazatelja funkcionalnih svojstava površine kolovoza i kao takva direktno je povezana sa stanjem puta, komforom vožnje, bezbednošću saobraćaja i planiranjem održavanja puteva. Indeks podužne ravnosti kolovoza – IRI (International Roughness Index) – kao međunarodno priznat pokazatelj, široko se koristi za ocenu stanja kolovozne površine i praćenje njenih promena tokom eksploatacije. Jedan od ključnih faktora koji utiču na propadanje kolovozne konstrukcije jeste saobraćajno opterećenje, posebno učešće teretnih vozila u saobraćaju. U radu će biti analizirana promena stanja kolovozne površine u okolnostima pojačanog saobraćajnog opterećenja, korišćenjem podataka o podužnoj ravnosti kolovoza i podataka sa automatskih brojača saobraćaja na odabranim deonicama mreže državnih puteva Republike Srbije. Analiza će obuhvatati upoređivanje višegodišnjih podataka IRI sa podacima o prosečnom godišnjem dnevnom saobraćaju (PGDS), sa ciljem identifikacije korelacije između saobraćajnog opterećenja i promene ravnosti površine kolovoza. Očekivani rezultati istraživanja mogu doprineti boljem razumevanju uticaja saobraćaja na funkcionalni i eksploatacioni kvalitet kolovoza i ukazati na značaj integracije različitih baza podataka u procesu upravljanja putnom infrastrukturom.

Ključne reči: poduzna ravnost, IRI, stanje kolovoza, saobraćajno opterećenje, automatsko brojanje saobraćaja, PGDS, upravljanje putnom infrastrukturom.

1 UVOD

Praćenje stanja kolovoza predstavlja jednu od ključnih aktivnosti u oblasti održavanja puteva i upravljanja državnim putnom infrastrukturom. Prikupljanje podataka o stanju kolovozne površine kroz periodična merenja i vrednovanje funkcionalnih pokazatelja predstavlja osnovu za donošenje odgovarajućih upravljačkih odluka.

Među najznačajnijim pokazateljima funkcionalnog stanja kolovozne površine izdvaja se međunarodni indeks ravnosti - IRI. Bročana vrednost ovog pokazatelja pruža informaciju o ravnosti uzdužnog profila puta, pri čemu njeno povećanje ukazuje na pogoršanje ravnosti kolovza.

Promena ravnosti tokom perioda eksploatacije zavisi od većeg broja međusobno povezanih faktora, među kojima su početni kvaliteta izvedenih radova, starosti i tip kolovozne konstrukcije, klimatski uslovi, sprovedene mere održavanja, kao i intenzitet i strukture saobraćaja.

⁸ CC BY-NC-ND licenca

Cilj istraživanja jeste ispitivanje odnosa između saobraćajnog opterećenja, predstavljenog vrednostima prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja, i podužne ravnosti kolovoza. Analizom je ispitano da li deonice sa većim intenzitetom saobraćaja imaju više vrednosti IRI-ja i izraženije pogoršanje ravnosti u tokom posmatranog perioda.

2 ISTRAŽIVANJA

2.1 Predmet istraživanja i raspoloživi podaci

Predmet analize je državni put IA reda A3, odnosno deonice u desnom smeru, od petlje Batrovci do petlje Ruma, za koje su raspoloživi podaci o IRI-ju i PGDS-u, kao i o redovnom i vanrednom održavanju za period 2021-2023. godine.

Pri sprovođenju analize potrebno je uzeti u obzir i određena ograničenja istraživanja koja mogu uticati na dobijene rezultate, a odnose se na mali broj ciklusa merenja, različite izvore i načine obrade podataka, kao i neusaglašenu segmentaciju deonica između posmatranih godina. Analizom nisu obuhvaćeni podaci o starosti kolovozne konstrukcije, kvalitetu izvedenih radova. Na predmetnim deonicama nisu vršene vanredne rehabilitacije kolovozne konstrukcije.

2.2 Metodologija

Analiza je sprovedena na osnovu podataka o IRI vrednostima po segmentima merenja i odgovarajućim vrednostima PGDS-a za dve posmatrane godine, u dvogodišnjim vremenskim intervalima. Budući da dužine segmenata na istim deonicama nisu bile jednake u svim ciklusima merenja, prosečna vrednost IRI-ja za svaku deonicu izračunata je kao dužinski ponderisan prosek:

$$IRI_{avg} = \frac{\sum(R_i * L_i)}{\sum L_i} \quad (1)$$

gde je:

- IRI_i - vrednost IRI-ja na i-tom segmentu;
- L_i dužina tog segmenta;
- n – broj segmenata na deonici.

Na ovaj način svaki segment učestvuju u rezultatu srazmerno svojoj dužini, čime je omogućeno poređenje podataka na nivou deonice.

Za svaku deonicu određene su apsolutne i procentualne promene IRI-ja i PGDS-a u periodu 2021–2023. godine. Izračunate su i prosečne, minimalne, maksimalne i medijalne vrednosti posmatranih pokazatelja.

2.3 Rezultati analize

2.3.1 Promena prosečnih vrednosti PGDS-a i IRI-ja

Vrednost PGDS-a, za četiri analizirane deonice, povećana je sa približno 9650 vozila/dan u 2021. na 11850 vozila/dan u 2023. godini.

U periodu 2021–2023. prosečna vrednost IRI_{avg} povećana je sa 1,0935 na 1,1662m/km. Porast IRI_{avg} evidentiran je na sve 4 deonice.

U Tabeli 1 prikazane su vrednosti prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (PGDS) i prosečne vrednosti međunarodnog indeksa ravnosti (IRIavg) za analizirane deonice 3003, 3005, 3007 i 3009, za 2021. i 2023. godinu.

Tabela 1: Rezultati analize podataka

Oznaka Deonice	PGDS 2021 [vozila/dan]	IRIavg 2021 [m/km]	PGDS 2023 [vozila/dan]	IRIavg 2023 [m/km]
3003	6078	1.016	8038	1.113
3005	7482	0.770	9916	0.844
3007	10872	1.194	13188	1.278
3009	14156	1.394	16256	1.430

Na svim analiziranim deonicama u 2023. godini zabeležene su više vrednosti PGDS-a u odnosu na 2021. godinu. PGDS se kretao od 6.078 do 14.156 vozila/dan u 2021. godini, odnosno od 8.038 do 16.256 vozila/dan u 2023. godini. Najmanje vrednosti u obe posmatrane godine zabeležene su na deonici 3003, dok su najveće zabeležene na deonici 3009.

Istovremeno, na svim analiziranim deonicama zabeležen je porast prosečne vrednosti IRI. Vrednosti IRIavg u 2021. godini kretale su se od 0,770 m/km na deonici 3005 do 1,394 m/km na deonici 3009, dok su se u 2023. godini kretale od 0,844 m/km do 1,430 m/km na istim deonicama. Rezultati, dakle, pokazuju da je između dva posmatrana ciklusa merenja na svim analiziranim deonicama došlo istovremeno do povećanja saobraćajnog opterećenja i povećanja prosečne vrednosti IRI.

2.3.2 Odnos promene PGDS-a i promene prosečnih vrednosti IRI-ja

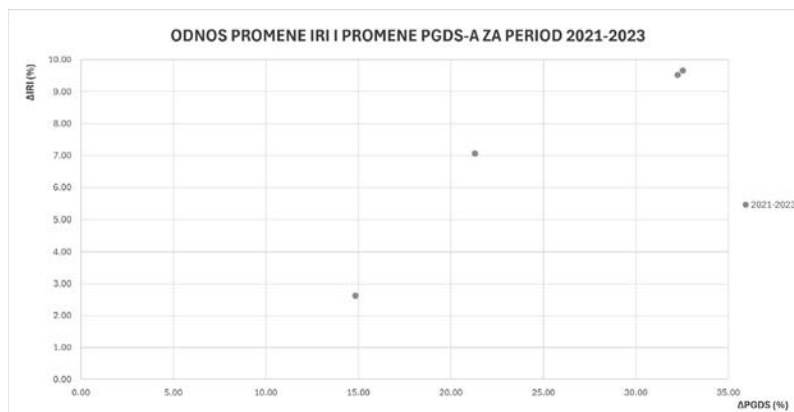
U Tabeli 2 prikazane su relativne promene vrednosti PGDS-a i prosečne vrednosti IRI u periodu od 2021. do 2023. godine. Na svim analiziranim deonicama zabeležen je porast obe posmatrane veličine, pri čemu se uočava da je veći relativni porast saobraćajnog opterećenja praćen većim relativnim porastom prosečne vrednosti IRI.

Tabela 2: Rezultati analize podataka

Oznaka Deonice	Δ PGDS 2021-2023 [vozila/dan]	Δ IRIavg 2021-2023 [m/km]
3003	32.25	9.53
3005	32.25	9.67
3007	21.30	7.06
3009	14.83	2.63

Najveći porast PGDS-a zabeležen je na deonicama 3003 i 3005 i iznosio je 32,25%, dok je na ovim deonicama IRIavg povećan za 9,53%, odnosno 9,67%. Na deonici 3007 PGDS je povećan za 21,30%, uz porast IRIavg od 7,06%. Najmanje promene zabeležene su na deonici 3009, gde je PGDS povećan za 14,83%, a IRIavg za 2,63%.

Na Grafiku 1 prikazan je odnos promene IRIavg i promene PGDS-a za posmatrani period od 2021. do 2023. godine. Iz priloženog možemo zaključiti da pri porastu vrednosti promene PGDS-a dolazi do nelinearnog povećanja vrednosti promene IRIavg, odnosno da na predmetnim deonicama dolazi do ubrzanog (eksponencijalnog) propadanja stanja površine kolovoza.



Grafik 1: Odnos PGDS-a i prosečne IRI vrednosti za period 2021-2023

3 ZAKLJUČAK

Postavlja se pitanje na koji način je moguće pravovremeno prepoznati deonice kod kojih postoji povećan rizik od ubrzanog pogoršanja stanja i sprečiti nekontrolisano opadanje kvaliteta vozne površine.

Za pouzdanije utvrđivanje međusobnih zavisnosti potrebno je proširiti istraživanje uključivanjem dodatnih faktora koji utiču na propadanje kolovoza, kao i većeg broja ciklusa merenja. Učestalija merenja IRI, uz istovremeno praćenje saobraćajnog opterećenja i evidenciju izvedenih radova na održavanju, omogućila bi preciznije praćenje dinamike promena tokom vremena.

Pravovremenim uočavanjem i analizom pokazatelja koji ukazuju na pojavu ili razvoj oštećenja moguće je blagovremeno reagovati na probleme koji nastaju tokom eksploatacije, čime se omogućava planiranje odgovarajućih mera održavanja pre nego što oštećenja dostignu nivo koji zahteva složenije i finansijski zahtevnije intervencije. Na taj način, unapređeni pristup ne doprinosi samo efikasnijem reagovanju na već nastale probleme, već i prelasku sa pretežno reaktivnog na proaktivno upravljanje stanjem kolovozne konstrukcije.

Istovremeno, pravovremene informacije o stanju i očekivanom razvoju oštećenja predstavljaju značajnu podršku pri određivanju prioriteta za intervencije, racionalnijem usmeravanju raspoloživih sredstava i produženju funkcionalnog i eksploatacionog veka kolovozne konstrukcije.

Rezultati podržavaju korišćenje PGDS-a kao jednog od pokazatelja rizika u upravljanju kolovozima, ali ne i kao jedinog kriterijuma za procenu njihovog budućeg stanja. Pouzdanija analiza zahteva uključivanje podataka o udelu i kategorijama teških vozila, osovinskom opterećenju, karakteristikama kolovozne konstrukcije, istoriji radova i lokalnim uslovima. Dalja istraživanja trebalo bi sprovedi na većem broju deonica, kroz duži vremenski period i po homogenim grupama kolovoznih konstrukcija.

LITERATURA

- [1] „Putevi Srbije“ d.o.o. Baza podataka o putevima – podaci o međunarodnom indeksu ravnosti na deonicama državnog puta IA reda A3 za 2019, 2021. i 2023. godinu. Interni podaci, Beograd.
- [2] „Putevi Srbije“ d.o.o. Podaci o prosečnom godišnjem dnevnom saobraćaju na deonicama državnog puta IA reda A3 za 2019, 2021. i 2023. godinu. Interni podaci, Beograd.

SUMMARY

Impact of Traffic Loading on Pavement Roughness Changes During the Service Life of Pavement Structures

Abstract: Longitudinal road roughness is one of the most significant indicators of pavement surface functional performance and, as such, is directly related to road condition, ride comfort, traffic safety, and road maintenance planning. The International Roughness Index (IRI), as an internationally recognized indicator, is widely used for pavement surface condition assessment and for monitoring changes in pavement condition during its service life. One of the key factors contributing to pavement deterioration is traffic loading, particularly the proportion of heavy vehicles in the traffic flow. This paper analyzes changes in pavement surface condition under increased traffic loading using longitudinal roughness data and traffic data obtained from automatic traffic counters on selected sections of the state road network of the Republic of Serbia. The analysis includes a comparison of multi-year IRI data with Annual Average Daily Traffic (AADT) data, with the aim of identifying the correlation between traffic loading and changes in pavement roughness. The expected results of the research may contribute to a better understanding of the impact of traffic on the functional and service performance of pavements and highlight the importance of integrating different databases in the road infrastructure management process.

Key words: longitudinal roughness, pavement condition, traffic loading, automatic traffic counting, AADT.

Plenarna sesija 4

PARKIRANJE

Od problema parkiranja do efikasnog upravljanja: smernice i primeri dobre prakse

Jelena Simićević, Saobraćajni fakultet, Beograd, j.simicevic@sf.bg.ac.rs

Rezime: U ovom radu pokušano je da se odgovori na pitanje zašto je parkiranje i dalje jedan od najvećih saobraćajnih problema u gradovima Srbije i zbog čega, uprkos višedecenijskoj primeni restriktivnih režima parkiranja u većini gradova, očekivani efekti upravljanja uglavnom izostaju. U svetlu savremenog koncepta upravljanja parkiranjem, analizirani su rezultati ekspertskih ocena i empirijskih istraživanja sprovedenih u gradovima Srbije, kako bi se identifikovali osnovni uzročnici ovakvog stanja. Rezultati pokazuju da problem nije u odsustvu politika parkiranja, već u njihovoj nedovoljno doslednoj i integrisanoj primeni. S tim u vezi, kao i na osnovu preporuka razvijenih u okviru relevantnih međunarodnih projekata, u radu su definisane smernice za efikasnije upravljanje parkiranjem u gradovima Srbije. One obuhvataju integrisanje politike parkiranja u upravljanje transportnim sistemom, primenu mera zasnovanih na jasno definisanim ciljevima i empirijskim pokazateljima, unapređenje sistema kontrole i sankcionisanja prekršaja, izgradnju javne i političke podrške, namensko korišćenje prihoda od parkiranja i kontinuirano praćenje efekata primenjenih mera. Rad je dopunjen inspirativnim primerima dobre prakse iz evropskih gradova, koji ne predstavljaju modele za neposredno preuzimanje, već ilustraciju principa uspešnog upravljanja parkiranjem i njihovog prilagođavanja lokalnim uslovima.

Ključne reči: upravljanje parkiranjem, politike parkiranja, održiva urbana mobilnost, gradovi Srbije, dobre prakse.

1 UVOD

Od pojave putničkih automobila do danas njihov broj gotovo neprekidno raste, kao posledica ekonomskog razvoja i povećanja životnog standarda, ali i višedecenijskih politika razvoja gradova koje su favorizovale automobilski saobraćaj. Istovremeno, površine namenjene za kretanje a posebno za mirovanje automobila nisu se srazmerno razvijale, bilo zbog ograničenosti raspoloživog urbanog prostora i visokih troškova njihove izgradnje ili propusta u planiranju usled neadekvatnog sagledavanja budućnosti [1] – što je dovelo do nastanka problema parkiranja.

Iako pojedine evropske države zadnjih godina beleže stagnaciju ili čak smanjenje broja automobila, zahvaljujući primeni sveobuhvatnog skupa mera transportne politike [2], u Srbiji se takvi trendovi još uvek ne naziru. Naprotiv, prema podacima Republičkog zavoda za statistiku Srbije [3], u periodu od 2002. do 2022. godine, uprkos smanjenju broja stanovnika za 11%, broj registrovanih putničkih automobila je povećan za čak 74%, usled čega je stepen motorizacije gotovo udvostručen: sa 179 na 351 automobil na 1.000 stanovnika.

Dodatni problem predstavlja činjenica da se putnički automobil koristi samo manji deo vremena u toku dana, dok najveći deo vremena provede u stanju mirovanja

(parkiran). Procenjuje se da to vreme u proseku iznosi gotovo 23 sata dnevno, odnosno oko 95% vremena [4]. Tokom tog perioda, automobili zauzimaju značajne površine, koje u urbanim sredinama predstavljaju jedan od najvrednijih resursa, a koji bi se u suprotnom mogao koristiti za druge saobraćajne ili društvene funkcije. Stoga parkiranje nije samo saobraćajno pitanje, već i pitanje racionalnog korišćenja urbanog zemljišta.

Zbog svega navedenog parkiranje se danas smatra jednim od ključnih saobraćajnih problema u gradovima. Međutim, različite interesne grupe problem parkiranja doživljavaju na različite načine, što često dovodi do oprečnih zahteva kada je rešavanje problema u pitanju.

Iz perspektive korisnika, problem parkiranja po pravilu se poistovećuje sa nedostatkom raspoloživih parking mesta. Javna parkirališta se često doživljavaju kao javno dobro koje bi svim građanima trebalo da bude dostupno pod jednakim uslovima, zbog čega se rešenje problema vidi u izgradnji novih parking kapaciteta. Sličan stav neretko imaju i građani koji nisu vozači, ali trpe posledice nepropisno parkiranih vozila kroz otežano pešačko kretanje ili smanjenu bezbednost. Lokalni privredni subjekti takođe zagovaraju povećanje parking kapaciteta, smatrajući da nedostatak parking mesta i primena restriktivnih mera mogu negativno uticati na dostupnost njihovih objekata i konkurentnost u odnosu na objekte i zone koje raspolažu obilnim i besplatnim parkiranjem [5].

Nasuprot tome, sa stručnog aspekta, izgradnja novih parking mesta predstavlja neodrživo rešenje. Pored značajnih prostornih i finansijskih ograničenja, povećanje ponude parking mesta podstiče dodatnu upotrebu putničkog automobila i generiše nove zahteve za parkiranje, čime se problem dugoročno ne rešava, već često dodatno produbljuje i doprinosi stvaranju društva zavisnog od automobila. Zbog toga se savremeni koncept upravljanja parkiranjem (i saobraćajem) u gradovima ne zasniva na izgradnji infrastrukture, već na efikasnom upravljanju postojećom kao i na upravljanju transportnim, odnosno parking zahtevima, uz istovremeno unapređenje alternativnih vidova prevoza. Za upravljanje parkiranjem, odnosno sprovođenje novog koncepta, nadležne su lokalne vlasti.

Međutim, većina mera novog koncepta podrazumeva određeni stepen ograničenja za korisnike, odnosno zahteva promenu njihovih ustaljenih obrazaca putovanja i parkiranja. Zbog toga se često suočavaju sa otporom javnosti, što umanjuje političku spremnost za njihovu primenu. Kao posledica, u praksi se primena ovih mera neretko odlaže iako je sa stručnog stanovišta opravdana.

Sve navedeno je doprinelo i lošem stanju parkiranja u gradovima Srbije, što je bio motiv za pisanje ovog rada. Rad ima za cilj da da smernice za unapređenje domaće prakse i efikasnije korišćenje politika parkiranja u ostvarivanju ciljeva održivog transportnog sistema.

2 UPRAVLJANJE PARKIRANJEM

Kao što je prethodno istaknuto, problem parkiranja predstavlja jednu od najizraženijih posledica intenzivne upotrebe putničkog automobila u gradovima. Međutim, upravo činjenica da se svako putovanje automobilom završava na mestu za parkiranje otvara značajan potencijal politike parkiranja da utiče ne samo na uslove parkiranja, već i na obrasce putovanja i transportne zahteve. Drugim rečima, dostupnost parking mesta i

mere koje su na njima primenjene mogu značajno uticati na izbor vida prevoza, odnosno podstaći ili obeshrabrili korišćenje automobila. Zbog toga od 2000. godine politika parkiranja postaje integralni deo transportnih politika gradova, čime je upravljanje parkiranjem podignuto na viši, strateški nivo i dobilo dve osnovne uloge: pored rešavanja problema u okviru samog podsistema, ono treba i da doprinese realizaciji ciljeva održivog transportnog sistema, pre svega kroz upravljanje vidovnom raspodelom kretanja. To se postiže primenom mera koje će zahteve dovesti na nivo prethodno definisane ponude. U tom smislu, nakon prostornog uređenja parkiranja, upravljanje parkiranjem u centralnim zonama gradova otpočinje uvođenjem odgovarajućeg restriktivnog režima sa atributima koji su posledica specifičnosti gradova, odnosno specifičnosti zahteva korisnika. Režimi naplate parkiranja sa ili bez vremenskog ograničenja treba da demotiviraju ili onemogućavaju dugotrajnim posetiocima (sa motivom „rad“) koji „ne treba“ da se parkiraju u visokoatraktivnim zonama, čime se omogućava parkiranje korisnicima koji pripadaju kvalifikovanoj potražnji (stanovnici i kratkotrajni posetiooci). Korisnicima koji će zbog režima odustati od parkiranja u zoni mora se ponuditi kvalitetan alternativni način dolaska. Podršku režimu čini dobro definisan tarifni sistem i kvalitetan sistem kontrole i sankcionisanja prekršaja [1].

Iako su početne politike upravljanja bile identične za većinu gradova Evrope [6], u nastavku se one prilagođavaju lokalnim uslovima i ciljevima, pa se definišu za svaki slučaj posebno. Po pravilu se ne primenjuju pojedinačne mere već kombinacija restriktivnih mera i pozitivnih inicijativa za korišćenje alternativnih vidova prevoza, koje su deo šireg paketa mera za upravljanje transportni zahtevima.

3 SMERNICE ZA EFIKASNO UPRAVLJANJE PARKIRANJEM

Smernice prikazane u ovom poglavlju definisane su na osnovu preporuka razvijenih u okviru projekata PARK4SUMP [7], finansiranog sredstvima Evropske unije u okviru programa Horizon 2020, i *Sustainable Urban Transport Project* (SUTP), odnosno njegovog modula *Parking Management* [8], koji je razvila Nemačka organizacija za međunarodnu saradnju (GIZ). Oba izvora sistematizuju savremene principe planiranja i upravljanja parkiranjem u funkciji održive urbane mobilnosti, pri čemu je modul *Parking Management* prvenstveno prilagođen potrebama gradova zemalja u razvoju.

Integrisati upravljanje parkiranjem sa upravljanjem transportnim sistemom. Upravljanje parkiranjem ne bi trebalo svoditi na reaktivno rešavanje pojedinačnih problema niti na operativno upravljanje parking mestima. Ono mora imati proaktivan i strateški karakter i biti integralni deo upravljanja transportnim sistemom i razvoja grada. To podrazumeva da grad najpre jasno definiše viziju i dugoročne ciljeve transportne politike, a zatim da utvrdi na koji način politika parkiranja može doprineti njihovom ostvarivanju. Ciljevi strategije upravljanja parkiranjem treba, dakle, da budu usklađeni kako sa širim ciljevima transportne politike, tako i sa operativnim potrebama samog podsistema parkiranja.

Primeniti adekvatan skup mera za upravljanje parkiranjem. Mere za upravljanje parkiranjem treba da budu donete u skladu sa prethodno definisanim ciljem upravljanja a na osnovu empirijskih podataka o izmeriteljima stanja parkiranja i transportnog sistema. Njihov izbor ne bi trebalo da bude rezultat *ad hoc* odluka ili prostog preuzimanja rešenja

iz drugih gradova, već stručnih analiza sprovedenih u okviru odgovarajućeg Projekta kontrole i upravljanja parkiranjem.

Obezbediti efikasno funkcionisanje sistema kontrole i sankcionisanja prekršaja. Efekti mera parkiranja u velikoj meri zavise od stepena njihovog poštovanja. Čak i dobro osmišljen režim neće ostvariti očekivane rezultate ukoliko korisnici procene da je verovatnoća uočavanja i sankcionisanja prekršaja zanemarljiva. Zbog toga kontrola i sankcionisanje prekršaja, kako na regulisanim tako i na nepropisnim mestima, predstavlja sastavni deo politike parkiranja. Efikasnost ovog sistema se može povećati brojnim merama, kao što su postavljanje urbanog mobilijara (kako bi se smanjio obim kontrole), povećanje broja kontrolora, primena tehničkih sredstava („pauk“, „lisice“) i tehničkih inovacija (specijalizovana vozila za automatsko očitavanje registarskih oznaka) i sl.

Pridobiti javnu i političku podršku. U mnogim gradovima ne postoji dovoljna politička spremnost za doslednu primenu mera definisanih projektom. Zbog toga je potrebno raditi na **edukaciji donosilaca odluka**, kako bi se unapredilo njihovo razumevanje ciljeva i efekata mera upravljanja parkiranjem, kao i njihove uloge u ostvarivanju širih ciljeva transportne i urbane politike. Donosiocima odluka ne bi trebalo da obeshrabri očekivana početna negativna reakcija javnosti niti bojazan od mogućih političkih posledica. Korisnici su danas u najvećoj meri već naviknuti na postojanje različitih režima parkiranja, zbog čega se ove mere po pravilu lakše prihvataju od većine drugih komplementarnih mera upravljanja transportnim zahtevima koje ograničavaju upotrebu automobila, kao što je, na primer, naplata ulaska u centralnu gradsku zonu [5, 9].

Njihov stepen prihvatanja dodatno se povećava **komunikacijom sa korisnicima**. Ukoliko se mere uvode i sprovode na transparentan način, uz jasno obrazloženje razloga za njihovu primenu, očekivanih ciljeva i koristi koje donose građanima, onda je i njihovo prihvatanje veće. Projektovane mere se mogu postepeno pooštavati (proširivati područje primene i/ili pooštavati mere), kako bi se postepeno pridobijalo poverenje korisnika. S tim u vezi, posebno je važno da korisnici ubrzo nakon uvođenja mera prepoznaju njihove pozitivne efekte, kao unapređenje kvaliteta javnog prostora i ukupnog kvaliteta života u gradu.

Prihode od parkiranja namenski i transparentno koristiti. Naplata parkiranja može predstavljati stabilan i značajan izvor finansiranja unapređenja parkiranja i drugih transportnih podsistema, što dodatno doprinosi ostvarivanju ciljeva održive mobilnosti. Ovo je posebno značajno imajući u vidu često tešku finansijsku situaciju u kojoj se naši gradovi nalaze. Istovremeno, kada korisnici mogu jasno da sagledaju način korišćenja prikupljenih sredstava i koristi koje iz toga proizlaze, povećava se poverenje javnosti i prihvatljivost primenjenih mera.

Na kraju treba napomenuti da se uvođenjem režima parkiranja proces upravljanja ne završava. Naprotiv, **stalno praćenje stanja** predstavlja jednu od osnovnih pretpostavki uspešnog upravljanja parkiranjem. S obzirom na to da zahtevi za parkiranje stalno rastu (tačka 1), ali i da se korisnici vremenom navikavaju na postavljene cene parkiranja [10], za očekivati je da će postojati potreba za povremenim pooštavanjem primenjenih mera ili uvođenjem novih, kako bi se realizovali i održali postavljeni ciljevi upravljanja.

4 PRIMERI DOBRE PRAKSE

U ovoj tački biće prikazani inspirativni primeri iz pre svega evropskih gradova koji prikazuju savremene tendencije upravljanja parkiranjem. Iako se mere iz drugog grada ne mogu jednostavno prepisati, one treba da ohrabre donosiocima odluka da sprovedu savremeni koncept upravljanja pokazujući im do kakvih se efekata može doći ne samo u podsistemu parkiranja već i šire.

Mere za upravljanje ponudom za parkiranje: zamrzavanje i smanjenje broja parking mesta se koriste kako bi se korisnici demotivisali od parkiranja u zoni.

Cirih je još 1989. godine zamrznuo broj parking mesta u centralnoj zoni i to ograničenje je još uvek na snazi. Ono ne onemogućava izgradnju parking garaža, ali obavezuje ukidanje ekvivalentnog broja parking mesta na ulici. Ova mera je doprinela sve manjem učešću automobila u vidovnoj raspodeli putovanja [7].

Oslo je primenio nešto restriktivniju meru. U periodu 2016-2018. godine u centralnoj zoni ukinuto je oko 800 mesta a oslobođeni prostor je prenamenjen u bašte, trotoare, zelene površine i sl. Broj parking mesta u garažama je ostao nepromenjen. Ova mera je dovela do niza pozitivnih efekata. Obim automobilske saobraćaja u centralnoj zoni je u periodu 2016-2018. godine smanjen za 11% a u narednoj godini za dodatnih 19%, dok je popunjenost automobila povećana sa 1,41 na 1,85. Očekivano, došlo je i do promene u intenzitetu korišćenja različitih struktura za parkiranje: obim parkiranja na uličnim mestima je smanjen za 26%, a obim u garažama povećan za 25% [7].

Mere za upravljanje zahtevima za parkiranje. Povećanje cene parkiranja je odavno dokazano kao efikasan instrument za upravljanje zahtevima za parkiranje, ali i u ostvarivanju drugih ciljeva održive mobilnosti. Zbog toga je ova mera čest odgovor na povećanje zahteva za parkiranje u evropskim gradovima [6].

Kako bi smanjili saobraćajno opterećenje u centralnoj zoni Amsterdama, cene parkiranja na uličnim parkiralištima su 2019. godine podignute za 65%. Istraživanje rađeno po uhođavanju ove mere je pokazalo da je došlo do smanjenja obima posetilaca za 17%, što je dovelo do smanjenja obima saobraćaja za oko 109.000 vozilo-kilometara dnevno [11].

Sa druge strane, stanovnici su tradicionalno smatrani korisnicima koji moraju da se parkiraju u uticajnoj zoni mesta stanovanja. Zbog toga im se u zonama režima daje status povlašćenog korisnika, koji im omogućava parkiranje bez vremenskog ograničenja i po povlašćenim cenama, koje su daleko niže od tržišnih. Međutim, niska cena kao i nekad blago ograničenje u broju povlašćenih parking karata (PPK) koje se mogu izdati po stanovniku ili domaćinstvu, motivišu (ili u najmanju ruku: ne ograničavaju) rast stepena motorizacije. Ova konstatacija je potvrđena u Barseloni, gde je smanjenje cene PPK za stanovnike radi dobijanja šire podrške javnosti prouzrokovalo naplaniran porast stepen motorizacije stanovnika centralne zone. Slično tome, usled generalnog trenda rasta stepena motorizacije ali i mogućnost dobijanja čak dve PPK po stanovniku centralne zone Beograda⁹, došlo je do drastičnog povećanja broja vozila stanovnika [12].

⁹ Ako prosečno domaćinstvo ima dva punoletna člana, ovo znači da je moguće dobiti čak četiri PPK po domaćinstvu (stanu) i zauzeti četiri ulična parking mesta u centralnoj zoni.

S tim u vezi, u saveznoj pokrajini Baden-Virtemberg u Nemačkoj 2021. godine je donet zakon koji omogućava gradovima da povećaju cene PPK za stanovnike i da ih diferenciraju u odnosu na broj vozila u domaćinstvu, kvalitet javnog prevoza i veličinu vozila [7].

Amsterdam je 2019. godine doneo odluku da sukcesivno ukida ulična parking mesta u centralnoj zoni, kako bi se oslobodio prostor za biciklističke staze, zelene površine, trotoare i dečija igrališta. S tim u vezi, doneta je odluka da se broj PPK za stanovnike ograniči na postojeći (odnosno tadašnji) nivo, a da se zatim njihov broj postepeno smanjuje bez oduzimanja postojećih PPK. Naime, broj PPK će se smanjivati prirodnim putem: PPK koje prestanu da važe zbog prodaje automobila, preseljenja ili smrti vlasnika neće biti ponovo izdavane. Procene su da će se na ovaj način broj PPK smanjivati za 1,1% svakih šest meseci [7, 13].

Unapređenje sistema kontrole i sankcionisanja prekršaja u parkiranju. Posebno problematičan deo kontrole prekršaja u parkiranju je parkiranje na nedozvoljenim mestima, koje je po pravilu u nadležnosti saobraćajne policije. Razlozi su nedostatak ljudskih resursa i/ili taj što saobraćajna policija ne daje dovoljan prioritet kontroli parkiranja. Da bi ovo promenio, London se odlučilo za „dekriminalizaciju kontrole parkiranja“, za šta i u Srbiji postoji pravni osnov. Ovo zapravo znači da prekršaji u parkiranju prestaju da budu prekršajno pitanje u nadležnosti policije i postaju predmet civilnog (administrativnog) postupka kojim upravlja lokalna samouprava. Na taj način, kazna prestaje da bude prekršajna novčana kazna i postaje administrativna naknada, pa prihodi od kazni ostaju lokalnoj samoupravi. Ova mera je dovela do bolje integracije kontrole nepropisnog parkiranja u politiku parkiranja, što je dovelo do značajnog smanjenja broja prekršaja i unapređenja stanja parkiranja. Dobra praksa se kasnije prenela i na ostatak zemlje, kao na i neke druge evropske zemlje [6, 7].

Savremeni trend u unapređenju sistema kontrole parkiranja jeste primena kamera za automatsko prepoznavanje registarskih oznaka (*Automatic Number Plate Recognition – ANPR*) na mobilnim platformama. U tom kontekstu treba pomenuti jedan pozitivan primer iz Srbije. U Nišu se od 2022. godine 70% površine zone režima kontroliše putem mobilnog video nadzora, dok se u preostalom delu kontrola i dalje vrši putem kontrolora. Analiza „pre i posle“ došla je do sledećih rezultata: broj nepropisno parkiranih vozila je smanjen, što se može potvrditi smanjenjem broja uklonjenih vozila „paukom“ za 27%. Sa druge strane, porastao je broj posetilaca koji plaćaju parkiranje, kako na uličnim (za 33%), tako i na vanuličnim parkiralištima (za 15%); dok je za korisnike koji ne plaćaju parkiranju povećana verovatnoća dobijanja kazne: broj izdatih elektronskih dnevnih parking karata (eDK) je porastao za 90% [14].

U Njujorku su kamere ugrađene na vozila javnog prevoza za automatsku detekciju vozila parkiranih na autobuskim stajalištima i u autobuskim trakama, čime se bez dodatnih resursa obezbeđuje kontinuirana kontrola duž trase linija.

Korišćenje prihoda od naplate parkiranja za finansiranje mera održive urbane mobilnosti, pored očiglednih direktnih koristi, dovodi i do većeg prihvatanja restriktivnih politika parkiranja od strane korisnika.

Od 2019. godine novi nacionalni zakon Poljske obavezuje gradove veće od 100.000 stanovnika da reinvestiraju najmanje 65% dobiti od naplate parkiranje u projekte usmerene ka razvoju održivog transportnog sistema i očuvanja zelenih površina u gradskim centrima [7]. U Barseloni se celokupna dobit investira u funkcionisanje sistema

za iznajmljivanje bicikala. Nekoliko londonskih opština koriste deo dobiti za subvencionisanje besplatnih pretplatnih karata za javni prevoz za stara lica i osobe sa invaliditetom [1].

Za kraj je dobro prikazati primer **integracije parkiranja u plan održive urbane mobilnosti** u gradu Vitorija-Gasteiz u Španiji. Grad je sproveo sveobuhvatnu reformu transportnog sistema, pri čemu je primenjen integrisan pristup koji je istovremeno obuhvatio ulaganja u javni prevoz, razvoj alternativnih vidova kretanja i mere kojima se destimuliše upotreba putničkog automobila – za šta je upravljanje parkiranjem korišćeno kao jedan od ključnih instrumenata za ostvarivanje ciljeva. U okviru podsistema parkiranja primenjene su sledeće mere: ukinuto je oko 2.000 parking mesta za potrebe izgradnje nove tramvajske pruge, značajno je proširena zona režima sa naplatom parkiranja, povećane su cene PPK za stanovnike, a prihodi od naplate parkiranja namenski su usmereni na unapređenje sistema javnog prevoza. Istovremeno su na obodu grada razvijeni sistemi „Parkiraj i vozi se“, čime je smanjen broj putničkih automobila koji ulaze u centralno gradsko područje. Posebna pažnja posvećena je komunikaciji sa građanima kroz kontinuirano informisanje o ciljevima i očekivanim efektima mera, kao i njihovom uključivanju u proces planiranja. Zahvaljujući ovakvom integrisanom pristupu, u periodu od 2008. do 2018. godine korišćenje javnog prevoza je udvostručeno, dok je udeo putovanja putničkim automobilom smanjen sa 36% na 24%, čime je potvrđena efikasnost integracije politike parkiranja sa širim ciljevima održive urbane mobilnosti.

5 STANJE PARKIRANJA U GRADOVIMA SRBIJE

U ovoj tački je ispitano kakvo je stanje parkiranja u gradovima Srbije i u kojoj meri se primenjuju savremeni principi upravljanja.

Prema podacima iz 2022. godine [15], u centralnim zonama 85% gradova u Srbiji primenjuje se određeni restriktivni režim parkiranja. Na osnovu toga moglo bi se zaključiti da su ovi gradovi prihvatili savremeni koncept upravljanja parkiranjem i otpočeli sa upravljanjem. Međutim, očekivani efekti upravljanja izostaju.

Prema podacima dobijenim kako ekspertskom ocenom postojećeg stanja [15], tako i empirijskim istraživanjima [16], može se doneti generalni zaključak da je problem parkiranja i dalje prisutan u svim analiziranim gradovima, i da su u većoj ili manjoj meri svuda zastupljena parkiranja na nedozvoljenim mestima (u proseku čak 43% od ukupnog broja parkiranja u toku dana). Posebno je indikativno da su nepropisna parkiranja prisutna čak i u situacijama ili periodima vremena kada ima slobodnih regulisanih mesta. Sa druge strane, veliki deo korisnika koji se parkiraju na regulisanim mestima (u proseku 47%) ne poštuje režim, odnosno ne plati parkiranje i/ili se zadrži duže od vremenskog ograničenja. Nije postignuto ni upravljanje kategorijama korisnika: dugotrajni korisnici sa motivom putovanja „rad“, koje bi primenjene mere trebalo da destimulišu, i dalje su dominantna kategorija posetilaca.

Sve navedeno ukazuje na to da se parkiranjem ne upravlja na pravi način, što upućuje na nedostatke stručnih znanja, administrativnih kompetencija i/ili nedostatke političke spremnosti za sprovođenje mera koje podrazumevaju ograničavanje korišćenja automobila te mogu izazvati otpor dela javnosti.

S tim u vezi posebno treba istaći primenu neadekvatnih mera, bilo iz razloga što su *ad hoc* definisane (u 42% gradova) ili što su mere definisane projektom ublažene radi

dobijanja šire javne podrške (u 50% gradova koji su radili projekat). Zbog toga se primenjuju mere koje su u direktnoj koliziji sa osnovnom idejom upravljanja, jer umesto ograničavanja podstiču dugotrajno parkiranje u najatraktivnijim gradskim zonama. U svakom analiziranom gradu, pored povlašćenih karata za stanovnike, postoje i povlašćene karte za ostala fizička lica kao i pravna lica i preduzetnike, pri čemu su kriterijumi za sticanje statusa povlašćenih korisnika izuzetno blagi a cene pretplata izuzetno niske. Uz to, postoje i dnevne parking karte, nekad čak i u zonama u kojima je parkiranje vremenski ograničeno, čime se ta mera poništava. Međutim, čak ni ove blage mere se ne poštuju, jer sistem kontrole i sankcionisanja prekršaja loše funkcioniše, pre svega zbog nedovoljnog broja izvršilaca angažovanih na poslovima kontrole (kontrolora i saobraćajnih/komunalnih policajaca). Verovatnoća da korisnik bude sankcionisan zbog nepoštovanja režima parkiranja iznosi u proseku svega 5%, dok je za parkiranje na nedozvoljenim mestima još niža i iznosi približno 2%. U takvim uslovima rizik od sankcionisanja praktično ne postoji, pa primenjene mere ne predstavljaju faktor koji može uticati na ponašanje korisnika.

Važno je istaći da integrisano upravljanje transportnim sistemom ne postoji, te da se parkiranjem kao i ostalim transportnim podsistemima po pravilu upravlja sektorski. Tome u prilog govori i činjenica da 62% od anketiranih eksperata koji su uključeni u proces upravljanja parkiranjem nije znalo da odgovori na pitanje u vezi sa stanjem ostalih transportnih podsistema u tom gradu. Ovakav rezultat ukazuje ne samo na odsustvo institucionalne koordinacije već i na nedovoljno sagledavanje parkiranja kao integralnog dela transportnog sistema.

Dakle, problem u gradovima Srbije nije u tome što se politike parkiranja ne primenjuju, već u tome što se ne primenjuju na odgovarajući, dosledan i integrisan način. Politički pritisak dovodi do ublažavanja mera, te se režimi praktično projektuju da ne odbiju gotovo nijednog korisnika. Tako definisani režimi se retko prilagođavaju na osnovu praćenja rezultata izmeritelja stanja.

6 ZAKLJUČAK

Problemi parkiranja u gradovima Srbije odavno prevazilaze pitanje nedovoljnog broja parking mesta i predstavljaju posledicu dugogodišnjeg izostanka sistemskog upravljanja o čemu svedoče smernice za efikasno upravljanje prikazane u tački 3. Iskustva evropskih gradova (pa i primeri dobre prakse, tačka 4) pokazuju da efikasno upravljanje parkiranjem nije zasnovano na kontinuiranom povećanju ponude, već na pažljivo definisanom skupu međusobno usklađenih mera koje doprinose ostvarivanju ciljeva transportne politike i održive urbane mobilnosti. Upravo zbog toga, najveći izazov u narednom periodu neće biti razvoj novih instrumenata upravljanja, već dosledna primena postojećih, uz veću političku odlučnost, jačanje institucionalnih kapaciteta i spremnost da se kratkoročni interesi podrede dugoročnim koristima za grad i njegove stanovnike. Tek tada će upravljanje parkiranjem u Srbiji prerasti iz administrativne aktivnosti u jedan od ključnih instrumenata razvoja održivog, pristupačnog i kvalitetnog transportnog sistema.

LITERATURA

- [1] Milosavljevic, N., & Simicevic, J. (2019). Sustainable parking management: practices, policies, and metrics. Elsevier.
- [2] Cubells, J., Marquet, O. and Miralles-Guasch, C. (2020) 'Gender and age differences in

- metropolitan car use. Recent gender gap trends in private transport', Sustainability (Switzerland), 12(18). doi: 10.3390/SU12187286.
- [3] Republički zavod za statistiku Srbije. Publikacije. (on-line) dostupno na: <https://www.stat.gov.rs/publikacije/> (accessed: 26. 02. 2026)
- [4] Shoup, D. C. (2005). The High Cost of Free Parking. Chicago: Planners Press, American Planning Association.
- [5] Rye, T. (2022). General introduction to parking management. Park4SUMP training event. Belgrade, May 16, 2022
- [6] COST 342 (2006) Parking policies and the effects on economy and mobility. Report on COST Action 342
- [7] CIVITAS PARK4SUMP. (2022). Objectives and key messages on parking management for cities. European Urban Mobility Observatory (ELTIS). https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/resources/case-studies/park4sump-objectives-and-key-messages-parking-management-cities_en
- [8] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2010). Parking Management (SUTP Module 2c). Sustainable Urban Transport Project (SUTP).
- [9] Glavić, D., Simićević, J., & Milenković, M. (2020). Parking versus Congestion Pricing: Comparative Analysis. Journal of Road and Traffic Engineering, 66(3), 11-16.
- [10] Simicevic, J., Milosavljevic, N., & Kaplanovic, S. (2021). The impact of user sensitivity on parking price sustainability. Transportation Planning and Technology, 44(3), 262-272.
- [11] Ostermeijer, F., Koster, H., H. Nunes, L., J., van Ommeren, (2022). Citywide parking policy and traffic: Evidence from Amsterdam, Journal of Urban Economics, Volume 128, 2022, 103418, ISSN 0094-1190
- [12] Simićević, J., Čuljković, V., & Nikolić, T. (2025). Parking state in the inner central area of Belgrade. Tehnika, 80(3), 317-324.
- [13] https://www.parool.nl/amsterdam/ruim-10-000-parkeerplaatsen-verdwijnen-voor-2025~b8496335/?utm_source=twitter&utm_medium=social&utm_campaign=shared%20content&utm_content=free&referrer=https%3A%2F%2Furban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu%2F (accessed: 05.08.2026)
- [14] Radosavljević, M., Radosavljević, D. (2024). Efekti uvođenja sistema kontrole i naplate parkiranja putem mobilnog video nadzora – grad Niš. U Zborniku radova XIV Konferencije o tehnikama saobraćajnog inženjerstva – TESI, str. 351-357. Zlatibor, 10-12. oktobar 2024.
- [15] Simićević, J. (2022). Parking management in Serbia. Tehnika, 77(5), 589-595.
- [16] Simićević, J. (2024). Upravljanje parkiranjem u funkciji održive urbane mobilnosti: neiskorišćeni potencijal u našim gradovima. U Zborniku radova XIV Konferencije o tehnikama saobraćajnog inženjerstva – TESI, str. 315-320.

SUMMARY

From Parking Problems to Effective Management: Guidelines and Good Practice Examples

Abstract: This paper seeks to answer why parking remains one of the major transport problems in Serbian cities and why, despite the widespread implementation of restrictive parking regimes for several decades, the expected outcomes of parking management have largely not been achieved. In the light of contemporary parking management principles, the results of expert assessments and empirical studies conducted in Serbian cities are analysed to identify the key factors underlying the current situation. The findings indicate that the problem lies not in the absence of parking policies, but rather in their insufficiently consistent and integrated implementation. Accordingly, and drawing on recommendations developed within relevant international projects, the paper provides guidelines for more effective parking management in Serbian cities. These include integrating parking policy into transport policy, implementing measures based on clearly defined objectives and empirical evidence, improving parking enforcement, gaining public and political support, earmarking parking revenues, and continuously monitoring the impacts of implemented measures. The paper also presents illustrative examples of good practice from European cities. Rather than serving as models for direct replication, these examples demonstrate the principles of successful parking management and how they can be adapted to local conditions.

Key words: parking management, parking policies, sustainable urban mobility, Serbian cities, good practices.

Проходност гаража и паркиралишта

Мирослав Милошев, ЦЕП Центар за планирање урбаног развоја, Београд,
miroslav@cep.rs

Снежана Димитријевић, ЦЕП Центар за планирање урбаног развоја,
Београд, dimitris@cep.rs

Зоран Рубињони, ЦЕП, Центар за планирање урбаног развоја, Београд,
zoran@cep.rs

Горан Зимоњић, ЦЕП Центар за планирање урбаног развоја, Београд,
goran@cep.rs

Резиме: Промене у димензијама савремених путничких аутомобила, пројектна решења која не обезбеђују увек адекватну проходност за возила, као и повећање степена моторизације, условили су потребу за израдом техничких упутстава. Циљ израде "Техничких упутстава за пројектовање гаража и паркиралишта" је пружање јасних и недвосмислених смерница пројектантима приликом израде техничких решења гаража и паркиралишта, како би се обезбедило испуњавање саобраћајно-техничких услова који се издају у поступку израде урбанистичке и техничке документације. На тај начин тежи се смањењу броја непотпуних и неусаглашених решења, смањењу броја поновљених захтева, као и унапређењу ефикасности и трајања управних поступака. Радом су представљене геометријске карактеристике пролаза у гаражама и нагиби приступних рампи који су обрађени у "Техничким упутствима за пројектовање гаража и паркиралишта". Анализе су спроведене симулацијски, употребом специјализованог софтвера AutoTURN, као и анализом актуелне законске регулативе и примера добре праксе.

Кључне речи: паркирање, пројектовање, проходност, техничка упутства

1 УВОД

У Републици Србији постоји више различитих правилника, као и Стандард за обележавање места за паркирање, који се у пракси користе за пројектовање гаража и паркиралишта. Међутим, у њима су изостављене или су недовољно прецизно дефинисане кључне карактеристике проходности објекта, због чега касније у поступку стицања грађевинске дозволе долази до поновљених захтева.

Саобраћајни пролази у гаражама морају бити пројектовани тако да омогуће безбедно и ефикасно кретање возила, као и маневрисање приликом уласка и изласка са паркинг места. Лакоћа маневрисања је главна функција ширине пролаза и директно утиче на капацитет паркинг простора. Основно полазиште је да геометрија простора за паркирање возила мора омогућити једноставно и интуитивно коришћење, без потребе за прецизним или вештим маневрисањем.

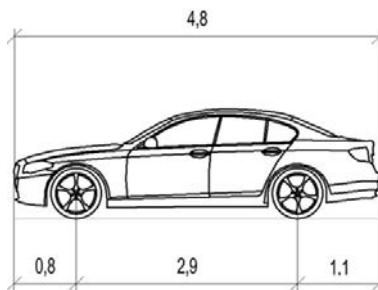
2 МЕРОДАВНО ВОЗИЛО

Критеријум за избор меродавног возила су биле критичне димензије и маневарске способности, како би се на основу њих димензионисале површине за кретање и паркирање возила. С тога су димензије меродавних возила приближно једнаке максимално прописаним вредностима у Републици Србији, према "Правилнику о подели моторних и прикључних возила". На овај начин се обезбеђује да прописане димензије простора за паркирање возила одговарају свим возилима дате врсте.

У техничким упутствима су анализирани просторни захтеви за две врсте путничких аутомобила, камионе и аутобусе, док ће у овом раду бити представљена анализа за меродавно возило које је - путнички аутомобил дефинисан као типичан путнички аутомобил који се најчешће појављује на саобраћајној мрежи и већина стандардних решења одговара његовим просторним захтевима.

Табела 1. Карактеристике меродавног путничког возила

Карактеристике	Меродавно возило ПА
<i>Дужина (m)</i>	4,80
<i>Ширина (m)</i>	1,90
<i>Висина (m)</i>	1,44
<i>Међуосовински размак (m)</i>	2,90
<i>Предњи препуст (m)</i>	0,80
<i>Задњи препуст (m)</i>	1,10
<i>Клиренс (mm)</i>	137
<i>Минимални унутрашњи радијус скретања на улазу у гаражу (m)</i>	5,00
<i>Минимални спољашњи радијус скретања на рампи (m)</i>	7,50 (са ширином рампе од 4,15)
<i>Спољни габаритни радијус (m)</i>	5,70
<i>Слободна висина (m)</i>	2,20



Слика 1. Димензије меродавног путничког аутомобила

3 ПАРАМЕТРИ ПРОХОДНОСТИ МЕРОДАВНОГ ВОЗИЛА

Паркирање под правим углом је најчешће решење у гаражама, јер омогућава највећи капацитет али истовремено захтева и добре маневарске способности возача. Симулацијом је испитана могућност паркирања возила при стандардним димензијама паркинг места (2,5 x 5,0 m) за различите ширине пролаза. Утврђено је да ширина пролаза од 6,0 m представља прихватљиво решење које обједињује паркирање и ходом уназад из једног маневра и ходом унапред из три маневра.

Косо паркирање под углом од 45° представља једно од најповољнијих решења са аспекта возача јер омогућава да возила уђу на паркинг место у једном континуалном маневру ходом унапред, без потребе за заустављањем. Симулацијом је утврђено да су потребне веће димензије простора за паркирање у односу на препоручене вредности из Стандарда. Уместо ширине пролаза од 2,7 m потребно је применити ширину од 3,5 m, а за дубину нише за паркирање уместо 4,4 m применити 5,0 m.

Косо паркирање под углом од 60° би требало да се функционално налази између паркирања под углом од 90° и 45°, да омогући нешто једноставније маневрисање него за паркирање под углом од 90°, а да обезбеди већи број паркинг места него паркирање под углом од 45°. Стандардна ширина пролаза од 3,8 m и дубина нише за паркирање од 4,8 m омогућавају паркирање из пет маневара, при чему хоризонтална пројекција паркираног возила излази изван габарита паркинг места. Утврђено је да је неопходно примењивати дубину нише за паркирање од 5,5 m, а тек при ширини пролаза од 5,0 m возило може да се паркира из једног маневра.

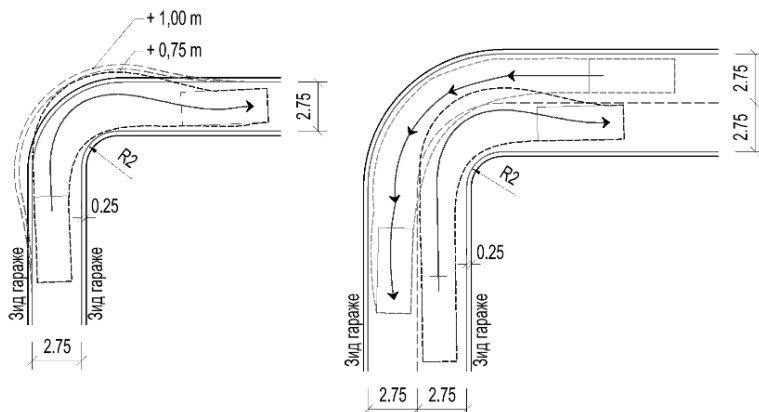
Табела 2. Димензије простора за паркирање меродавног возила

Угао паркирања	Ширина пролаза (m)	Дубина нише за паркирање (m)
90° ходом уназад	Стандард: 5,00 Препоручено: 6,00	5,00
90° ходом унапред	Стандард: 7,4 Препоручено: 6,00	5,00
60°	Стандард: 3,80 Препоручено: 4,50	Стандард: 4,80 Препоручено: 5,50
45°	Стандард: 2,70 Препоручено: 3,50	Стандард: 4,40 Препоручено: 5,00
0°	Стандард: 3,50 Препоручено: 4,00	Стандард: 2,00 Препоручено: 2,20

За разлику од јавних саобраћајница, у гаражама се возила крећу врло малим брзинама, обично између 5 и 10 km/h, уз висок ниво пажње возача. Вредности унутрашњег радијуса скретања се крећу распону од 1,5 до 3,0 m. Генерално, кривине са унутрашњим радијусима од 3,0 m и мање би требало третирати као маневарске зоне, а не као класичне саобраћајне кривине.

Анализом је установљено да величина проширења саобраћајне траке у кривини зависи од њене почетне и крајње ширине, а не нужно од радијуса скретања. У овом случају, за брзину возила од 5 km/h, примена радијуса у распону од 1,5 m до 3,0 m захтева проширење саобраћајне траке. Разлика у величини радијуса скретања утиче

само на комфор при маневрисању. За једносмеран режим саобраћаја се препоручује проширење саобраћајне траке од 0,75 m за ширину саобраћајне траке од 2,75 m, док је за ширину саобраћајне траке од 3,0 m потребно проширење од 0,5 m. У случају двосмерног режима саобраћаја није потребно проширење саобраћајне траке, већ се толерише бочно заузеће суседне траке.



Слика 2. Трајекторије возила у скретању за једносмеран и двосмеран режим саобраћаја

Један од најважнијих аспеката пројектовања гаража јесу адекватне ширине пролаза када не постоји радијус заобљења ивице коловоза за скретање возила, а често долази до полемике о томе да ли возило може или не може да изврши маневар скретања при датим ширинама. Зато су испитане 64 комбинације ширина пролаза на основу чега је настала матрица компатибилних ширина пролаза.

Табела 3. Компатибилне ширине пролаза (од зида до зида) при скретању

		Крајња ширина пролаза (m)							
		2,75	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
Почетна ширина пролаза (m)	2,75	x	x	x	x	x	x	x	✓
	3,00	x	x	x	x	x	x	✓	✓
	3,50	x	x	x	x	x	✓	✓	✓
	4,00	x	x	x	x	✓	✓	✓	✓
	4,50	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓
	5,00	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓
	5,50	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓
	6,00	x	x	x	✓	✓	✓	✓	✓

4 КОЛСКЕ РАМПЕ

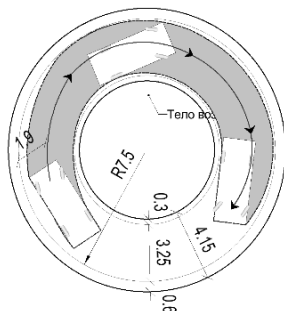
Кључно питање у анализи проходности колских рампи је било утврђивање прихватљиве комбинације укупне ширине рампе (од зида до зида) и радијуса рампе. Препоручено је да бочно удаљење од ивице рампе износи 0,3 m са унутрашње стране и 0,6 m са спољашње. Испитано је дванаест комбинација које чине три вредности спољног радијуса и четири вредности ширине рампе.

Табела 4. Комбинације адекватне ширине једносмерне рампе и спољног радијуса колске рампе

Спољни R (m)	Ширина рампе од зида до зида (m)*			
	3,90	4,15	4,40	4,65
7,50	Није адекватно.	Препоручено.	Препоручено.	Препоручено.
9,00	Препоручено.	Препоручено.	Препоручено.	Препоручено.
12,00	Препоручено	Препоручено.	Препоручено.	Препоручено.

* Увећати за минимално 0,50 m при нагибу већем од 12%.

У техничким упутствима је препоручен нагиб рампе до 8%, док је за веће вредности потребно пројектовати прелазну рампу у дужини од најмање 3,0 m и са упола мањим нагибом. Прелазна зона обезбеђује постепену промену уздужног нагиба и смањује ризик од контакта возила са подлогом. Истовремено, побољшава комфор корисника и повећава безбедност кретања, посебно при малим брзинама и на влажном коловозу.



Слика 3. Проходност једносмерне закривљене колске рампе



Слика 4. Димензије двосмерне закривљене рампе

5 ЗАКЉУЧАК

"Техничка упутства за пројектовање гаража и паркиралишта" намењена су као подршка свим учесницима у процесу планирања и пројектовања, са циљем да се обезбеди уједначена примена саобраћајно-техничких критеријума и виши ниво усаглашености пројеката са прописима и правилима струке. У оквиру Техничких упутстава су свеобухватно анализирани саобраћајно-техничке карактеристике гаража и паркиралишта, превасходно у погледу проходности за возила и захтеваног простора.

Симулацијом трајекторије возила је утврђено да одређене вредности дате Стандардом не испуњавају критеријум проходности за меродавно возило коришћено за израду техничких упутстава. На основу добијених резултата су препоручене нове вредности, нарочито за паркирање под угловима од 60°, 45° и 0°. Такође, значај овог документа се огледа у јасно дефинисаним вредностима ширина пролаза, радијуса скретања и техничких карактеристика колских рампи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Техничка упутства за пројектовање гаража и паркиралишта, ЦЕП Центар за планирање урбаног развоја; Секретаријат за саобраћај; Београд 2026.
- [2] SRPS U.S4.234: Ознаке на путу - остале ознаке - обележавање места за паркирање, Институт за стандардизацију Србије, Београд, 2020.
- [3] Правилник о подели моторних и прикључних возила и техничким условима за возила у саобраћају на путевима ("Службени гласник Републике Србије", бр. 40/12, 102/12, 19/13, 41/13, 102/14, 41/15, 78/15, 111/15, 14/16, 108/16, 7/17, 63/17, 45/18, 70/18, 95/18, 104/18, 93/19, 2/20, 64/21, 129/21, 143/22, 110/22, 48/23, 24/24, 101/24 и 53/25)
- [4] Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings, 2024.
- [5] Bike Parking Infrastructure Guidance, Dublin Cycling Campaign, v 1.0, Dublin, 2018
- [6] Design recommendations for multi-storey and underground car parks (Fourth edition), London, United Kingdom, 2011

SUMMARY

Manoeuvrability of Garages and Parking Facilities

Abstract: Changes in the dimensions of modern passenger cars, design solutions that do not always ensure adequate vehicle manoeuvrability, and the increasing level of motorization have created a need for the development of technical guidelines. The aim of the Technical Guidelines for the Design of Garages and Parking Facilities is to provide designers with clear and unambiguous guidance for developing technical solutions for garages and parking facilities, thereby ensuring compliance with the traffic and technical requirements defined during the preparation of planning and technical documentation. This is intended to reduce the number of incomplete and non-compliant design solutions, minimize the need for repeated submissions, and improve the efficiency and duration of administrative procedures. The paper presents an analysis of the geometric characteristics of circulation aisles in garages and the gradients of access ramps addressed by the Technical Guidelines for the Design of Garages and Parking Facilities. The analyses were conducted using computer-based simulations with the specialized AutoTURN software, complemented by a review of the applicable legal framework and examples of good practice.

Key words: parking design, vehicle manoeuvrability, technical guidelines

Izazovi integracije parkiranja i punjenja električnih vozila u centralnom gradskom području

Vladimir Momčilović, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd,
v.momcilovic@sf.bg.ac.rs

Marko Stokić, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd,
m.stokic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Centralne gradske zone odlikuju se intenzivnim tokovima putničkih i dostavnih vozila, koji usled visoke popunjenosti parking mesta, kako na uličnom frontu tako i u javnim parking garažama, dovode do konkurencije različitih korisnika za ograničen javni prostor. Dodatni pritisak u narednom periodu stvoriće očekivani porast broja električnih vozila (e-vozila), koja zahtevaju obezbeđivanje odgovarajuće infrastrukture za punjenje. Ovaj problem se ne može posmatrati isključivo u domenu energetike i tehnologije, već zahteva integrisano urbanističko i saobraćajno planiranje, upravljanje parkiranjem i gradskom logistikom, kao i usklađivanje sa mogućnostima elektroenergetske mreže. Cilj rada je da se identifikuju ključni izazovi integracije parkiranja i punjenja e-vozila u centralnim gradskim područjima i predloži upravljački postupak za njihovo prevazilaženje. Predloženi postupak obuhvata definisanje ciljeva i nadležnosti, formiranje objedinjene baze podataka, višekriterijumski izbor lokacija, dimenzionisanje broja i snage punjača, definisanje režima korišćenja i tarifne politike, informacionu integraciju, pilot-primenu i adaptivno upravljanje. Na taj način razvoj infrastrukture za punjenje može se uskladiti sa politikom parkiranja, potrebama urbane logistike, raspoloživim energetske kapacitetima i ciljevima plana održive urbane mobilnosti.

Ključne reči: e-vozilo, punjač, parkiranje, održiva urbana mobilnost

1 UVOD

S obzirom da je prostor u centralnim gradskim zonama deficitaran i samim tim vrlo skup, a da ulično i vanulično parkiranje već zauzimaju značajne površine, ne može se izdvojiti dodatni prostor isključivo namenjen snabdevanju pogonskom energijom električnih vozila (e-vozila). Aktuelni trend rastuće elektrifikacije voznog parka putničkih (PA) i lakih komercijalnih tj. dostavnih (LKV) vozila (Tabela), čija ekspanzija se očekuje i u gradovima Srbije, definitivno će zahtevati dostupniju i rasprostranjeniju infrastrukturu javnih punjača, posebno u centralnim gradskim zonama, čiji ograničeni kapaciteti za parkiranje su tokom većeg dela dana popunjeni. Sa druge strane, učešće snabdevanja i dostave, koje neprekidno raste od početka pandemije COVID-19, nije ispraćeno dovoljno dobrim upravljačkim merama u našim lokalnim samoupravama, usled nedostatka: realnog sagledavanja dimenzija ovog problema, (dobrog) planiranja, (ne)adekvatnog regulisanja i sankcionisanja nepropisnog ponašanja i nedovoljnog kapaciteta. Vozila za snabdevanje i dostavu se zbog toga svakodnevno bore za prostor, pa nije redak slučaj da u nedostatku legalnog prostora za zaustavljanje, parkiranje i istovar koriste sav raspoloživi prostor, uključujući trotoare, proširenja, niše za javni prevoz (JP), ali i saobraćajne trake

rezervisane za JP ili za dinamički saobraćaj, gde „samo na kratko“ blokiraju parkirana ili vozila u pokretu.

Tabela 1: Struktura voznog parka putničkih vozila (PA) i lakih komercijalnih vozila (LKV) po pogonu u R. Srbiji (2020-2025. godine)

Vozilo Pogon	2020.	2021.	2022.	2023.	2024.	2025.
PADizel	1.124.444	1.218.088	1.274.683	1.321.178	1.376.605	1.428.104
PABenzin	794.242	836.724	844.269	855.220	879.454	912.202
PATNG	219.417	216.443	194.366	176.231	166.445	157.180
PAKPG	5.944	7.747	10.485	13.881	16.810	19.150
PAMešavina	560	314	200	291	220	114
PAHibridna	3.163	7.562	12.839	21.493	34.654	52.407
PAElektrična	149	355	747	1.556	2.654	4.607
LKVDizel	152.711	166.280	173.992	181.071	190.575	200.215
LKVBenzin	10.859	11.556	11.449	11.456	12.404	12.601
LKVTNG	10.899	11.055	10.754	10.347	10.410	10.007
LKVKPG	1.143	1.562	2.046	2.744	3.392	3.846
LKVMešavina	1	0	0	1	0	0
LKVHibridna	4	7	29	60	312	505
LKVElektrična	13	92	155	331	677	969

Opravdano se u stručnoj i široj javnosti postavlja pitanje: da li je (samo) elektrifikacija voznog parka rešenje ekoloških problema u centralnim gradskim područjima, jer ukoliko se individualna putnička i dostavna vozila sa pogonom na konvencionalna goriva zamene e-vozilima i dalje će usled saobraćajnih zagušenja kvalitet života stanara, posetilaca i zaposlenih biti niži, zbog čega je i došlo do popularizacije i uvođenja koncepta održive urbane mobilnosti u centralnim gradskim zonama.

U domaćem kontekstu, Beograd predstavlja relevantan ilustrativni primer za razmatranje predmetnog problema. Plan održive urbane mobilnosti Beograda (POUM), usvojen 2020. godine, kao jedan od osnovnih ciljeva postavlja promenu hijerarhije mobilnosti, pri kojoj prioritet dobijaju pešačenje, biciklizam i javni prevoz, dok se rast korišćenja individualnog automobila nastoji ograničiti **Error! Reference source not found..** Istovremeno, razvoj elektromobilnosti prepoznat je i kroz dostupnost informacija o e-vozilima i javnim punjačima na zvaničnim gradskim servisima **Error! Reference source not found..** Ovakav planski okvir dobro ilustruje osnovnu dilemu razmatranu u radu: razvoj infrastrukture za punjenje treba da omogući elektrifikaciju voznog parka, ali bez stvaranja dodatnog podsticaja za povećanje saobraćaja individualnih putničkih vozila i zauzimanje ograničenog javnog prostora u centralnim gradskim zonama.

Višedimenzionalnost problema koji se obrađuje u ovom radu je to što postavljanje javnog punjača na parking mestu (PM) ili mestu za snabdevanje / dostavnom mestu u centralnom gradskom području dovodi do prostorno-vremenskog konflikta saobraćajne površine, energetskeg punkta (tj. stanice za snabdevanje energijom) i ograničenog (i skupog) urbanog resursa.

U skladu sa postavljenim ciljem, u radu se najpre identifikuju ključni izazovi integracije parkiranja i punjenja e-vozila u centralnim gradskim područjima, nakon čega se predlaže procedura planiranja, implementacije i kontinuiranog prilagođavanja ovako integrisanog sistema. Rad je zasnovan na analizi relevantnog regulatornog i planskog okvira, zvaničnih statističkih podataka i naučne literature iz oblasti infrastrukture za punjenje e-vozila, upravljanja parkiranjem i održive urbane mobilnosti. Na osnovu razmatranih izvora i specifičnosti centralnih gradskih zona identifikovani su ključni prostorni, saobraćajni, energetske, ekonomski, informacioni i institucionalni izazovi i ograničenja. Njihovom sistematizacijom razvijen je koncept procedure upravljanja od definisanja ciljeva i nadležnosti, preko formiranja baze podataka, primene metoda višekriterijskog izbora lokacija, dimenzionisanja infrastrukture, definisanja režima korišćenja i tarifnog sistema, do informacione integracije, uz primenu na nivou pilot projekta, sa praćenjem performansi i adaptivnim upravljanjem.

2 KLJUČNI IZAZOVI ZA USPOSTAVLJANJE INTEGRISANOG SISTEMA PARKIRANJA I PUNJENJA

U ovom poglavlju analiziraju se ključni izazovi specifičnih režima parkiranja i punjenja e-vozila u zonama sa visokom tražnjom za PM. Centralne gradske zone se, po pitanju zahteva, razlikuju od perifernih i obodnih zona, tržnih centara i drugih dislociranih zona visoke atraktivnosti, servisnih stanica i odmorišta na autoputevima, odlikuju:

1. ograničenim brojem (legalnih) PM;
2. velikom potražnjom stanara, zaposlenih i posetilaca zone;
3. visokim učešćem kratkotrajnih zaustavljanja;
4. konfliktima dostave sa pešačkim, biciklističkim tokovima i javnim prevozom;
5. teškoćama u obezbeđivanju dovoljne snage priključaka za veći broj punjača, posebno za laka i srednja komercijalna vozila i
6. potrebom (ili obavezom?) da se izbegne stimulisanje većeg broja ulazaka putničkih (uključujući e-) vozila u centar grada.

U osnovi, pojavljuje se jedan značajan konflikt integracije ovih komplementarnih funkcija: dok klasično PM funkcioniše po logici (vremenski ograničenog) zauzeća prostora, PM sa punjačem ima i dodatnu dimenziju: vreme (i cenu) punjenja. Međutim, nakon završetka punjenja e-vozilo može još neko vreme da nastavi sa zauzećem punjača, čime se smanjuje efektivni kapacitet ove stanice za snabdevanje pogonskom energijom - SSPE (kao pandan stanicama za snabdevanje gorivom - SSG). Posebna pažnja posvećuje se prostorno-vremenskim ograničenjima parkiranja i punjenja, mogućnostima rezervacije mesta za punjenje, tarifnoj politici i integraciji infrastrukture punjača sa primenjenim merama upravljanja parkiranjem. Na osnovu regulatornog i planskog okvira, relevantne naučne literature i specifičnih uslova funkcionisanja centralnih gradskih zona, identifikovani problemi grupisani su prema njihovoj dominantnoj prostornoj, saobraćajnoj, energetske, ekonomskoj, informacionoj i institucionalnoj dimenziji. Pri tome su kao posebni izazovi izdvojena i pitanja upravljanja različitim kategorijama korisnika i usklađenosti razvoja infrastrukture sa ciljevima POUM (Tabela). Na toj osnovi definisano je devet ključnih izazova integracije parkiranja i punjenja e-vozila:

1. Izbor lokacija i konkurencija za ograničen javni prostor - Centralna gradska područja karakteriše visoka vrednost i intenzivno korišćenje javnog prostora, zbog čega

postavljanje punjača nije moguće posmatrati nezavisno od drugih funkcija uličnog profila. PM namenjeno punjenju e-vozila istovremeno prestaje da bude raspoloživo drugim potencijalnim korisnicima, dok punjač dodatno zauzima trotoar ili drugu javnu površinu. Na istoj lokaciji za prostor konkurišu parkiranje stanara i posetilaca, dostava, javni prevoz, pešački i biciklistički tokovi, taksi vozila i drugi korisnici. Zbog toga, izbor lokacija zahteva istovremeno razmatranje većeg broja kriterijuma i primenu metoda višekriterijumskog odlučivanja [5].

Tabela 2: Ključni izazovi, posledice i predložene mere

Izazov	Posledice	Predložene mere
Izbor lokacija i konkurencija za javni prostor	Smanjenje raspoloživih PM; konflikti sa dostavom, JP, pešacima i biciklistima.	Višekriterijumski izbor lokacija; prioritet garažama i vaniličnim parkiralištima; selektivno punjenje na ulici.
Broj i snaga punjača u odnosu na vreme zadržavanja	Nedovoljna iskorišćenost; nedovoljno punjenje; nepotrebno opterećenje energetske mreže i visoki troškovi.	Dimenzionisanje prema tražnji i vremenu zadržavanja; različite snage prema nameni lokacije; fazno povećanje kapaciteta.
Nepropisno zauzimanje i zadržavanje nakon punjenja	Smanjenje kapaciteta i izmene (obrt); nedostupnost punjača drugim korisnicima.	Jasna namena i signalizacija; kontrola i sankcionisanje; tolerisano vreme i naknada za ostanak nakon punjenja.
Usklađivanje individualnog i dostavnog saobraćaja	Konflikt za prostor; nedostatak U/I mesta; nepropisno zaustavljanje i ometanje dinamičkog saobraćaja	Povezivanje punjenja sa gradskom logistikom; depoi i mikro-habovi; dinamička (vremenski) namena površina.
Tarifna politika	Dugo zauzeće PM; niska izmena (obrt); finansijska neodrživost; podsticaj korišćenja automobila.	Objedinjena naplata parkiranja i punjenja; naknada nakon punjenja; diferencirane tarife; ograničenje besplatnog parkiranja.
Informacije i interoperabilnost	Dolazak do zauzetog/neispravnog punjača; dodatno traženje PM; fragmentirane usluge.	Jedinstveni podaci o PM i punjaču u realnom vremenu; integracija naplate, rezervacije i kontrole; interoperabilne i interaktivne platforme.
Elektroenergetska ograničenja	Nedovoljna snaga priključka; skupe rekonstrukcije; duže vreme realizacije.	Analiza mreže; pametno upravljanje angažovanom snagom; prethodno kabliranje; fazna realizacija.
Podela nadležnosti	Spore procedure; neusaglašene tarife i sistemi; nejasna odgovornost.	Jasna podela nadležnosti; koordinacija grada, operatora javnih parkirališta i obezbeđenja energije; zajednički standardi i razmena podataka.
Usklađenost sa POUM-om i upravljanjem tražnjom	Veća atraktivnost dolaska automobilom; dodatno opterećenje i zagušenje centra; konflikt sa JP, pešacima i biciklima.	Punjače planirati u cilju upravljanja tražnjom; uskladiti lokacije, kapacitet i tarife sa POUM; pratiti efekte sistema.

2. Usklađivanje broja i snage punjača sa vremenom zadržavanja - Trajanje parkiranja i potrebno vreme punjenja e-vozila se najčešće ne podudaraju. Vozilo može da završi punjenje znatno pre isteka dozvoljenog / planiranog trajanja parkiranja i nastavi da zauzima PM, dok u suprotnom raspoloživo vreme zadržavanja može da bude nedovoljno da se pri raspoloživoj snazi punjača obezbedi potrebna količina energije. Broj i snagu punjača zato nije opravdano određivati samo prema broju e-vozila, već ih treba povezati sa motivom pakiranja, strukturom korisnika, karakterom tražnje, karakterističnim vremenom zadržavanja / trajanjem parkiranja i stvarnom iskorišćenošću infrastrukture [6,7].

3. Nepropisno zauzimanje PM i zadržavanje nakon punjenja - Jedan od najvidljivijih problema predstavlja zauzimanje PM sa punjačem konvencionalnim vozilom. Sličan problem nastaje kada električno vozilo zauzme ovakvo PM, a ne koristi uslugu punjenja ili ostane i nakon što napuni bateriju. U ovim slučajevima punjač formalno postoji, ali nije dostupan korisniku kome je potreban.

4. Usklađivanje individualnog i dostavnog saobraćaja - Dostavna vozila imaju drugačije zahteve od individualnih putničkih vozila. Njihovo prostorno-vremensko pojavljivanje na ovom PM zavisi od ostvarenja prethodno planiranih vremenskih intervala, relativno ograničenog pristupa objektu i raspoloživosti prostora za utovar i istovar. Elektrifikacija dostavnih vozila uvodi dodatni zahtev za punjenjem, ali mesto za dostavu i

PM za punjenje ne moraju da budu funkcionalno povezana. Dostavna zona sa punjačem može da bude opravdana kada se energija dopunjava tokom utovara ili istovara, pod uslovom da vrsta, snaga i trajanje punjenja odgovaraju dostavnom vozilu. Međutim, ako klasična zona dostave postane mesto za punjenje ograničiće ionako malu raspoloživost ovih zona u neposrednoj blizini poslovnih objekata i izazvati ometanje dinamičkog saobraćaja.

5. Tarifna politika - cena korišćenja PM sa punjačem treba da obuhvati najmanje dve usluge: zauzeće PM i isporučenu električnu energiju. U pojedinim slučajevima potrebno je dodati naknadu za rezervaciju i (destimulativnu) naknadu za korišćenje PM po završenom punjenju. Besplatno parkiranje e-vozila u centralnim zonama, iako kratkoročno podstiče nabavku ekoloških sredstava, uglavnom je kontraproduktivno, jer podstiče duže trajanje parkiranja na vrednim PM i smanjuje izmenu (obrt). Tarifna politika istovremeno podržava racionalno korišćenje PM, kao i transparentno i nediskriminatorno korišćenje javnih punjača, u skladu sa principima evropskog regulatornog okvira [3].

6. Informacije i interoperabilnost - Korisniku pre polaska (dolaska) treba omogućiti pristup podacima o lokaciji punjača, radnom vremenu, dozvoljenim kategorijama vozila, vrsti i snazi priključka, jediničnoj ceni, dostupnosti, preostalom trajanju punjenja (u slučaju zauzeća) i ispravnosti. Bez ovih podataka, interaktivna mapa sa postojećim punjačima može da dovede korisnika u zabludu ako je PM zauzeto ili neispravno. Podaci o parkiranju i punjenju zato treba da budu objedinjeni: informacija da je punjač „slobodan“ je potreban ali ne i dovoljan uslov ako je PM „zauzeto“, kao što informacija da je PM „slobodno“ nije dovoljna ako je punjač „zauzet“ ili „neispravan“. Informacioni sistem povezuje podatke o zauzeću, statusu punjača, rezervaciji, naplati i kontroli, uz obezbeđivanje dostupnosti i interoperabilnosti relevantnih podataka [3].

7. Ograničenja elektroenergetske mreže - Broj punjača ne može se određivati nezavisno od raspoloživog kapaciteta energetske mreže. Istovremeni zahtevi za punjenjem većeg broja vozila punjačima velike snage može da zahteva rekonstrukciju priključka, trafostanice ili unutrašnjih instalacija objekta. Ovi radovi povećavaju troškove i mogu da produže rok za uspostavljanje punjača.

8. Podela nadležnosti - Upravljanje parkiranjem najčešće je u nadležnosti grada ili operatora na javnim parkiralištima, dok priključenje punjača zavisi od elektromreže, elektroprivrede ili elektrodistribucije. Za odobravanje postavljanja punjača može da bude nadležan upravljač puta, gradske i urbanističke službe, zavod za zaštitu spomenika kulture i sami vlasnici objekata. Samu uslugu punjenja može da pruža privatni operator, dok naplata i mobilna aplikacija mogu da budu i kod trećeg lica. Ovakva podela nadležnosti može da dovede do dužih procedura, neusaglašenih tarifa i sistema u kojima korisnik „odvojeno“ plaća parkiranje i punjenje, pa čak i koristi različite aplikacije i obraća se različitim službama u slučaju problema.

9. Usklađenost sa POUM i upravljanje tražnjom - Mreža infrastrukture za punjenje e-vozila u atraktivnim gradskim područjima mora da bude usklađena sa ciljevima POUM. Iako zamena vozila sa konvencionalnim SUS motorima e-vozilima doprinosi smanjenju lokalnih emisija štetnih gasova, ne rešava problem zauzeća javnog prostora, saobraćajnih zagušenja i „konkurencije“ javnom prevozu, pešačenju i biciklizmu. Poseban izazov je ako dostupnost punjača, besplatno ili povlašćeno parkiranje, kao i drugi podsticaji koji povećavaju atraktivnost dolaska individualnim PA u centralnu zonu. Zbog toga, razvoj

infrastrukture za punjenje treba da bude sastavni deo politike upravljanja tražnjom i usklađen sa hijerarhijom vidova kretanja i ciljevima POUM [1].

3 PREDLOG PROCEDURE USPOSTAVLJANJA INTEGRISANOG SISTEMA PARKIRANJA I PUNJENJA

Identifikovani izazovi ukazuju da planiranje i upravljanje infrastrukturuom za punjenje e-vozila u centralnim gradskim zonama ne može da bude zasnovano na međusobno nezavisnim merama. Odluka o lokaciji, broju i snazi punjača neposredno utiče na trajanje parkiranja, dostupnost PM, na energetske zahteve, dok režim korišćenja i tarifna politika utiču na izmenu (obrt) parkiranja i ukupnu tražnju. Zbog toga se predlaže metoda višekriterijumskog odlučivanja u kojoj se pitanja rešavaju sukcesivno, uz stalnu međusobnu koordinaciju.

Prvi korak predstavlja definisanje ciljeva sistema i podelu nadležnosti. Pre izbora lokacija potrebno je utvrditi kojim kategorijama korisnika je infrastruktura prvenstveno namenjena, tj. u kojoj meri se zadovoljavaju potrebe stanara, posetilaca, zaposlenih ili dostavnih vozila. Istovremeno, proverava se usklađenost planirane infrastrukture sa ciljevima POUM, posebno sa politikom ograničavanja saobraćaja individualnih PA i davanja prioriteta aktivnim i održivim vidovima kretanja. U ovoj fazi se definišu uloge lokalne samouprave, operatora: javnih parkirališta, punjača i električne energije, da se izbegnu preklapanja ili odbijanje odgovornosti.

Drugi korak je formiranje objedinjene baze podataka na osnovu koje se utvrđuje tražnja, ponuda i ograničenja sistema. Potrebno je objединiti podatke o obimu, trajanju i izmenama (obrtu) parkiranja, strukturi korisnika, broju i snazi punjača i njihovoj iskorišćenosti, prostornoj raspodeli e-vozila, zahtevima dostave, atraktorima i generatorima putovanja. Ove podatke treba povezati sa informacijama o pešačkim, biciklističkim i tokovima javnog prevoza, poželjno u jedinstvenoj interaktivnoj prostornoj bazi podataka.

Na osnovu prikupljenih podataka sledi izbor potencijalnih lokacija primenom metoda višekriterijumskog odlučivanja. Pri rangiranju lokacija potrebno je istovremeno razmatrati tražnju za parkiranjem i punjenjem, popunjenost i izmenu (obrt) parkiranja, vreme zadržavanja, udaljenost atraktora / generatora putovanja, potrebe stanara, zaposlenih, posetilaca i dostave, mogućnost nadzora i naplate, tarifne opcije, raspoloživu snagu priključaka, investicione troškove, mogućnost proširenja i uticaj na tokove korisnika javnog prevoza, pešaka i biciklista. Na taj način, izdvajaju se prioritetne, uslovno prihvatljive i nepovoljne lokacije. Prednost, po pravilu, treba dati garažama i vanuličnim parkiralištima, dok ulično punjenje treba uvoditi postepeno i selektivno.

Za odabrane lokacije zatim je potrebno izvršiti dimenzionisanje broja i snage punjača. Ono treba da se zasniva na očekivanoj tražnji za energijom, strukturi korisnika i karakterističnom vremenu zadržavanja. Lokacije sa višesatnim parkiranjem pogodnije su za veći broj priključaka manje ili srednje snage, dok je veća snaga opravdana tamo gde je vreme zadržavanja kratko i zahteva se veća izmena (obrt) parkiranja. Posebno treba proveriti raspoloživi kapacitet elektroenergetske mreže i mogućnost dinamičkog upravljanja snagom priključka. Preporučuje se fazni razvoj, pri čemu instalacije treba da budu pripremljene za eventualna proširenja, ali se dodatni punjači ugrađuju tek kada tražnja opravda povećanje ponuđenog kapaciteta.

Naredni korak je definisanje prostorno-vremenskog režima korišćenja. Za svaku lokaciju potrebno je odrediti koje kategorije vozila imaju pravo (i prioritet) korišćenja, da li je zauzimanje mesta dozvoljeno isključivo tokom aktivnog punjenja, maksimalno vreme zadržavanja, mogućnost rezervacije i tolerisani period nakon završetka punjenja. Na lokacijama sa konkurentnim zahtevima moguće je primeniti promenljivu namenu površina, tako da isto mesto u određenim vremenskim periodima služi dostavi, a u drugim parkiranju i punjenju. Time se povećava iskorišćenost ograničenog javnog prostora bez njegovog trajnog rezervisanja isključivo za jednu funkciju.

Sa definisanim režimom korišćenja neposredno je povezana tarifna politika. Cena usluge treba da obuhvati cenu parkiranja i isporučene električne energije, kao i naknadu („penale“) za zadržavanje nakon završetka punjenja. U slučaju rezervacije može se predvideti i naknada za rezervaciju ili penali za nepojavljivanje. Tarife je potrebno diferencirati prema zoni, vremenskom periodu i kategoriji korisnika. Na taj način, tarifa postaje instrument upravljanja tražnjom i izmenom (obrtom) parkiranja, a ne samo sistem za naplatu angažovane električne energije.

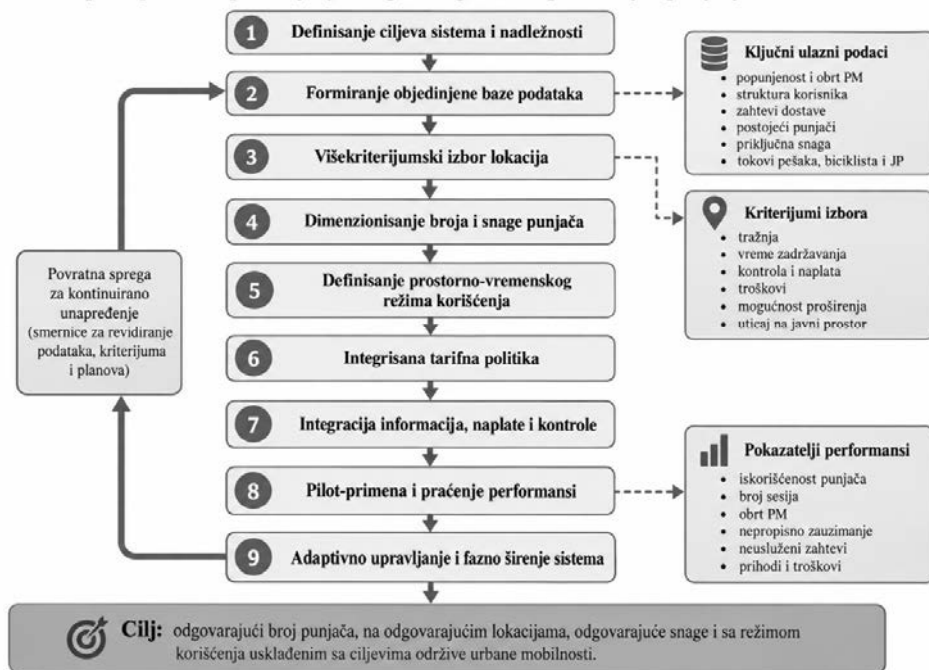
Za efikasno sprovođenje definisanih režima neophodna je integracija informacionih sistema, naplate i kontrole. Podaci o zauzetosti PM, dinamičkom statusu punjača, početku i (procenjenom) završetku punjenja, rezervacijama i naplati treba da budu međusobno povezani i dostupni u realnom vremenu. Takav sistem omogućava prepoznavanje nepropisnog zauzimanja PM konvencionalnim vozilom, parkiranje e-vozila bez punjenja i zadržavanje nakon završene sesije punjenja. Istovremeno, korisniku se pruža pouzdana informacija o stvarnoj, a ne samo tehničkoj raspoloživosti punjača.

Pre šire implementacije predloženi sistem treba proveriti kroz pilot projekat na reprezentativnim lokacijama. Tokom probnog (pilot) perioda potrebno je pratiti iskorišćenost punjača, broj sesija po priključku, popunjenost i izmenu (obrt) parkiranja, trajanje parkiranja i punjenja, broj nepropisnih zauzimanja, količinu isporučene energije, broj neopsluženih ili nekompletnih zahteva, sa razlozima, kao i prihode i troškove. Na taj način, moguće je proveriti da li su usvojeni kapacitet, režim korišćenja i tarifa odgovarajući.

Poslednji korak je adaptivno upravljanje i fazno proširenje sistema. Na osnovu pokazatelja iz prethodnog perioda mogu se menjati broj i snaga punjača, režim korišćenja, tarifna politika, opcije naplate ili načini kontrole. Visoka iskorišćenost i česti neopsluženi zahtevi mogu da signaliziraju potrebu za proširenjem kapaciteta, dok mala iskorišćenost ukazuje da povećanje broja punjača nije opravdano. Ukoliko se utvrdi da određena lokacija podstiče dodatne ulaske individualnih vozila ili ugrožava druge funkcije javnog prostora, potrebno je preispitati njen režim ili lokaciju.

Na ovaj način, uspostavlja se proces meritornog odlučivanja od definisanja ciljeva i prikupljanja podataka, preko višekriterijumskog izbora lokacija, dimenzionisanja kapaciteta, definisanja režima i tarifa, do praćenja i eventualnog prilagođavanja sistema. Cilj takvog pristupa nije maksimalan broj punjača u centralnom gradskom području, već odgovarajući broj punjača odgovarajuće snage, na odgovarajućim lokacijama i sa režimom korišćenja koji istovremeno obezbeđuje kvalitet usluge i podržava ciljeve POUM.

Šema postupka za uspostavljanje integrisanog sistema parkiranja i punjenja e-vozila



4 ZAKLJUČAK

Integracija parkiranja i punjenja e-vozila u centralnim gradskim područjima predstavlja složen upravljački problem u kome se istovremeno prepliću zahtevi za korišćenjem ograničenog javnog prostora, potrebe različitih kategorija korisnika, mogućnosti elektroenergetske mreže, ekonomska opravdanost ulaganja i ciljevi održive urbane mobilnosti. Analizom su izdvojeni ključni izazovi koji se odnose na izbor lokacija, usklađivanje broja i snage punjača sa vremenom zadržavanja, kontrolu korišćenja PM, odnos individualnog i dostavnog saobraćaja, tarifnu politiku, interoperabilnost, elektroenergetska ograničenja, podelu nadležnosti i usklađenost sa politikom upravljanja saobraćajnom tražnjom.

Za njihovo prevazilaženje predložen je koncept procedure upravljanja koji polazi od definisanja ciljeva i odgovornosti, preko formiranja objedinjene baze podataka i višekriterijumskog izbora lokacija, do dimenzionisanja infrastrukture, definisanja prostorno-vremenskih režima i tarifa i integracije informacija, naplate i kontrole. Poseban značaj imaju pilot projekti, praćenje pokazatelja performansi i adaptivno upravljanje, jer omogućavaju da se kapacitet, režimi i tarife naknadno prilagođavaju stvarnoj tražnji. Cilj ovakvog pristupa nije maksimiziranje broja punjača, već obezbeđivanje odgovarajućeg broja priključaka odgovarajuće snage na odgovarajućim lokacijama, uz racionalno korišćenje javnog prostora i podršku ciljevima održive urbane mobilnosti.

Ograničenje rada predstavlja činjenica da je predloženi postupak razvijen na konceptualnom nivou i nije empirijski proveren na konkretnom centralnom gradskom području. Buduća istraživanja zato treba usmeriti ka njegovoj primeni na prostoru studije

slučaja. Posebno je potrebno razviti i testirati višekriterijumski model za rangiranje lokacija, utvrditi relativni značaj pojedinih kriterijuma, kvantifikovati odnos tražnje, vremena zadržavanja i potrebnog kapaciteta punjača i ispitati uticaj različitih tarifnih i prostorno-vremenskih režima na ponašanje korisnika. Pilot projekat bi omogućio i određivanje praktičnih pragova iskorišćenosti pri kojima je opravdano proširenje kapaciteta, kao i procenu energetske, saobraćajne i finansijske efekata predloženog sistema.

LITERATURA

- [1] Sekretarijat za saobraćaj Grada Beograda (2020) Plan održive urbane mobilnosti, Beograd. (pristupljeno: 02.08.2026. godine)
- [2] Grad Beograd (2026) „Saobraćaj, javni prevoz i parking“, deo o e-vozilima i e-punjačima. (pristupljeno: 02.08.2026. godine)
- [3] European Parliament and Council (2023) Regulation (EU) 2023/1804 on the deployment of alternative fuels infrastructure (AFIR), Official Journal of the European Union.
- [4] Republički zavod za statistiku (2026) Registrovana vozila, baza podataka; Registrovana drumska motorna i priključna vozila i saobraćajne nezgode na putevima, 2025. (pristupljeno: 30.08.2026. godine)
- [5] Janjić, A., Velimirović, L., Velimirović, J., Vranić, P. (2021) Estimating the optimal number and locations of electric vehicle charging stations: the application of multi-criteria p-median methodology. *Transportation Planning and Technology*, 44(8), 827-842. doi:10.1080/03081060.2021.1992177
- [6] Babić, J., Carvalho, A., Ketter, W., Podobnik, V. (2022) A data-driven approach to managing electric vehicle charging infrastructure in parking lots. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 105, 103198. doi:10.1016/j.trd.2022.103198
- [7] Borlaug, B., Yang, F., Pritchard, E., Wood, E., Gonder, J. (2023) Public electric vehicle charging station utilization in the United States. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 114, 103564. doi:10.1016/j.trd.2022.103564

SUMMARY

Challenges in Integrating Electric Vehicle Parking and Charging in Central Urban Areas

Abstract: Central urban areas are characterised by intensive passenger and delivery vehicle flows, that due to high occupancy of parking spaces, both on-street and in parking garages, lead to competition among different users for a limited public space. Additional pressure will be shaped by expected (desirable) increase in the number of electric vehicles (e-vehicles) in the coming period, which require the provision of charging infrastructure at appropriate locations. This issue cannot be considered exclusively in the domain of energy policy or technology, but rather as a complex matter of urban and fiscal planning, as well as dynamic and stationary traffic management. It is therefore necessary to consider and address these challenges in a timely manner, in order to prevent local authorities from facing quality of life deterioration in attractive central urban areas. The objective of this paper is to propose measures for overcoming current challenges and to highlight the need for an integrated approach to urban and transport planning, as well as to improving energy, environmental and financial sustainability and ensuring consistent implementation of sustainable urban mobility plans. A rational charger network, supported by parking and delivery policies, charging and demand management measures, could contribute to reducing greenhouse gas emissions and attaining other objectives.

Key words: e-vehicle, charger, parking, sustainable urban mobility

Analiza efekata novoizgrađenih parking garaža na karakteristike parkiranja u centralnoj zoni Novog Sada

Milja Simeunović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, mlekovic@uns.ac.rs

Zoran Papić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, z.papic@uns.ac.rs

Nenad Saulić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, n.saulic@uns.ac.rs

Pavle Pitka, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, pitka@uns.ac.rs

Rezime: Konstantan rast stepena motorizacije u Novom Sadu, uz istovremeno ograničene mogućnosti proširenja postojećih parkirališnih kapaciteta, doveo je do sve izraženijih problema u pronalaženju slobodnog parking mesta, naročito u centralnim gradskim zonama. U cilju unapređenja sistema parkiranja, u okviru saobraćajne studije Smart Plan - druga faza prepoznata je potreba za izgradnjom ukupno 48 javnih parking garaža na teritoriji grada, od kojih je planirano da se u užoj centralnoj gradskoj zoni izgradi 8. U periodu od 2022. do 2025. godine izgrađene su dve javne parking garaže – Garaža Banovina i Garaža Modena, čime su obezbeđeni novi kapaciteti za parkiranje u centralnom gradskom području. Predmet ovog rada je analiza uticaja novoizgrađenih parking garaža na uslove parkiranja u njihovom neposrednom okruženju. U radu su analizirane osnovne karakteristike parkiranja, sa posebnim osvrtom na trajnost parkiranja i akumulaciju vozila na parkiralištima koja se nalaze u zoni uticaja navedenih garaža. Cilj istraživanja je da se utvrdi da li je izgradnja novih garažnih kapaciteta doprinela rasterećenju postojećih uličnih i vanuličnih parkirališta, kao i da se sagledaju promene karakteristika parkiranja nakon njihovog puštanja u rad. Dobijeni rezultati predstavljaju osnovu za ocenu efekata do sada sprovedenih mera, kao i ocenu opravdanosti daljeg razvoja planiranih garažnih kapaciteta predviđenih studijom Smart Plan – druga faza.

Ključne reči: parking garaže, akumulacija, trajnost parkiranja

1 UVOD

Obezbeđivanje dovoljnog broja parking mesta u gradskim centralnim zonama predstavlja jedan od najvećih izazova u upravljanju saobraćajem. Broj stanovnika u većim urbanim sredinama je u konstantnom porastu, što je istovremeno praćeno rastom motorizacije u gradovima, kao i povećanjem mobilnosti, radi obavljanja različitih aktivnosti. Sve prethodno navedeno dovodi do sve većeg opterećenja celokupne saobraćajne infrastrukture, uključujući i parkirališne kapacitete. Neravnoteža između ponude i potražnje za parking prostorom je sve izraženija, što negativno utiče na funkcionisanje saobraćajnog sistema, pristupačnost centralnih gradskih sadržaja i kvalitet urbanog života.

Od uspostavljanja sistema naplate parkiranja u Novom Sadu 2005. godine kontinuirano su sprovedene analize i revizije sistema sa ciljem praćenja karakteristika parkiranja i prilagođavanja postojećeg režima novonastalim uslovima. Na osnovu utvrđenih pokazatelja vršene su izmene u organizaciji sistema parkiranja, koje su obuhvatale proširenje zona naplate, izmene tarifnog sistema, izmene vremenskih

ograničenja parkiranja, kao i druge mere usmerene na efikasnije upravljanje postojećim parkirališnim kapacitetima. Iako su navedene mere u određenoj meri doprinosile poboljšanju uslova parkiranja, njihovi efekti uglavnom su bili kratkoročnog karaktera, s obzirom na konstantan porast stepena motorizacije na području grada, kao i sve veće zahteve za parkiranjem. Posmatrano dugoročno, najprihvatljivije rešenje, koje je konstantno predlagano tokom svake analize sistema parkiranja na području Novog Sada, bila je izgradnja parking garaža.

U periodu od 2022. do 2025. godine u Novom Sadu izgrađene su dve javne parking garaže – Garaža Banovina i Garaža Modena – čime je značajno povećan broj raspoloživih parking mesta u centralnoj gradskoj zoni. Njihovom izgradnjom stvoreni su uslovi za preraspodelu potražnje za parkiranjem i potencijalno rasterećenje postojećih uličnih i vanuličnih parkirališta.

Predmet ovog rada jeste analiza uticaja izgradnje navedenih javnih parking garaža na karakteristike parkiranja u centralnoj zoni Novog Sada. Cilj istraživanja je da se, na osnovu analize relevantnih pokazatelja parkiranja pre i nakon izgradnje parking garaža, utvrdi da li su novoizgrađeni parkirališni kapaciteti doprineli rasterećenju postojećih parkirališta na posmatranom gradskom području.

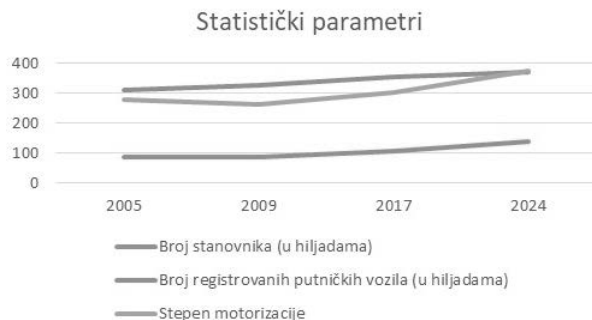
2 UTICAJNI FAKTORI NA RAZVOJ PARKIRALIŠNIH KAPACITETA U NOVOM SADU

Uvođenje komunalnog reda u oblast parkiranja na području Novog Sada započeto je 2005. godine izradom Studije parkiranja, u okviru koje je predložen zonski sistem organizacije parkiranja na području grada. U okviru Studije, parkirališta su sistematizovana prema vrsti naplate, izvršeno je njihovo razvrstavanje u zone, uvedeni su savremeni oblici naplate, kao i novi način kontrole i sankcionisanja prekršaja, putem doplatne karte [1]. Na taj način, postavljeni su temelji organizovanog upravljanja sistemom parkiranja u gradskoj zoni Novog Sada. Tokom poslednje dve decenije periodično je vršeno praćenje karakteristika parkiranja i analiza funkcionisanja sistema, na osnovu čega su predlagane kratkoročne i dugoročne mere, koje je bilo neophodno primeniti u cilju efikasnijeg upravljanja sistemom parkiranja. Otežavajuću okolnost u proteklom dvadesetogodišnjem periodu predstavlja konstantan rast broja stanovnika i broja registrovanih putničkih automobila na području Novog Sada. Ovakav trend imao je značajan uticaj na povećanje zahteva za parkiranjem i dodatno opterećenje postojećih parkirališnih kapaciteta, posebno u centralnom gradskom području.

Na slici 1 prikazano je kretanje broja stanovnika, broja putničkih automobila i stepena motorizacije u Novom Sadu za posmatrani period.

U odnosu na 2005. godinu, broj stanovnika je do 2024. godine povećan za približno 20 %, dok je broj putničkih automobila povećan za čak 61,3 %. Iz prethodno navedenih podataka se uočava da je protekli period karakterističan po znatno intenzivnijem porastu broja registrovanih putničkih automobila u odnosu na rast broja stanovnika. Ovakva disproporcija u rastu broja stanovnika i broja putničkih automobila dovela je do uslozňjavanja problema u sistemu parkiranja i predstavlja jedan od osnovnih negativnih faktora koji zahteva uvođenje novih mera, radi unapređenja sistema parkiranja na području Novog Sada. Budući da je izgradnja javnih parking garaža mera koja je

prepoznata kao jedna od ključnih dugoročnih mera tokom svih studijskih istraživanja, u poslednjih nekoliko godina, stvoreni su uslovi za realizaciju ovih rešenja.



Slika 1: Broj stanovnika, broj registrovanih PA i stepen motorizacije [izvor [2]]

3 REALIZOVANI PROJEKTI PARKING GARAŽA U CENTRALNOJ ZONI NOVOG SADA

Tokom 2024. godine završena je izgradnja parking garaže u neposrednoj blizini Banovine, u Ulici vladike Platona 1A, zbog čega je i dobila ime garaža “Banovina”. Nakon trogodišnjeg perioda izgradnje, puštena je u rad, u septembru 2024. godine. Sastoji se od dve podzemne etaže, ukupnog kapaciteta od 167 parking mesta, od čega na prvoj etaži ima 79 mesta, a na drugoj 88 mesta. Odvijanje saobraćaja je organizovano tako da se u garažu ulazi iz Ulice vladike Platona 1A, dok je izlaz iz garaže orijentisan ka Banovini. Pešački pristupi garaži organizovani su iz dva smera, iz ulica Žarka Zrenjanina i Vladike Platona. U okviru parking garaže 8 parking mesta je opremljeno električnim punjačima i namenjeno je za električna vozila. Pored toga, dva parking mesta namenjena su za parkiranje motocikala, dok je 9 parking mesta namenjeno osobama sa invaliditetom, što je u skladu sa zakonskim propisima [3].

Parking garaža “Modena”, nalazi se u Centralnoj zoni Novog Sada, u Ulici modene, neposredno uz pešačku zonu. Izgradnja je trajala u periodu od maja 2022. godine do 05.09.2025. godine, kada je i zvanično otvorena. Parking garaža “Modena” napravljena je u tri etaže, sa ukupno 267 parking mesta (88/87/92). Od ukupnog broja, 8 parking mesta je opremljeno električnim punjačima i namenjeno je za električna vozila. Osobama sa invaliditetom je namenjeno 14 parking mesta, čime je ispunjen zakonski minimum. Kolski prilaz garaži je organizovan iz Ulice modene, pri čemu su i ulaz i izlaz organizovani sa ove saobraćajnice [4].

Obe parking garaže namenjene su za kratkotrajno i dugotrajno parkiranje, pri čemu je parkiranje dostupno u bilo kom periodu tokom 24 časa. Cena kratkotrajnog parkiranja je 100 dinara po započetom satu. U slučaju gubitka parking karte, plaća se cena u iznosu od 1500 dinara. Cena dugotrajnog parkiranja se razlikuje u zavisnosti od toga da li se vozila parkiraju u periodu od 07:00 do 20:00 h ili imaju neograničeno parkiranje tokom 24 časa i iznosi 15000 dinara i 18000 dinara, respektivno. Dugotrajno parkiranje je regulisano mesečnim ugovorima.

Na slici 2 prikazane su pozicije parking garaža “Banovina” i “Modena” u odnosu na užu centralnu zonu, koja obuhvata deo severno od Ulice bulevar Mihajla Pupina.

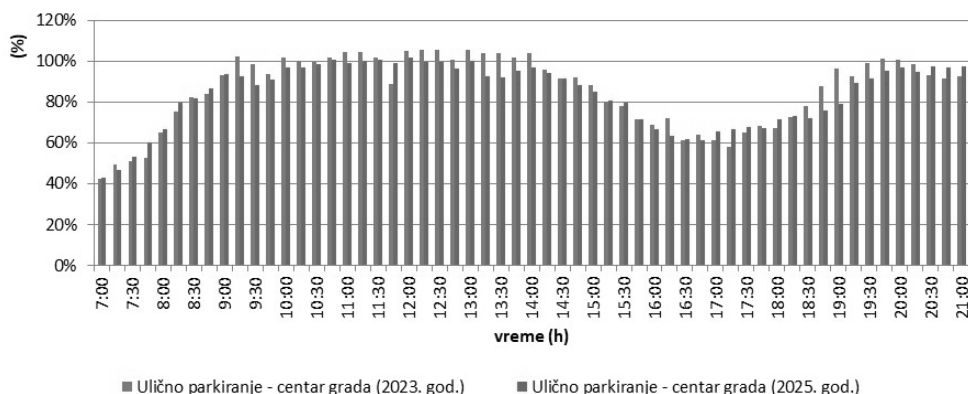


Slika 2. Pozicije parking garaža "Banovina" i "Modena"

4 KARAKTERISTIKE PARKIRANJA U UTICAJNOJ ZONI PRE I NAKON IZGRADNJE PARKING GARAŽA

Akumulacija parkiranja predstavlja jedan od osnovnih pokazatelja karakteristika parkiranja i značajna je za analizu vremenske i prostorne raspodele opterećenja posmatranih parking površina. Prikazom akumulacije parkiranja sagledavaju se vremenski periodi najveće, odnosno najmanje potražnje za parkiranjem i omogućava se procena o mogućnosti postojećih kapaciteta da zadovolje potrebe korisnika za parkiranjem. Najčešće se utvrđuje u petnaestominutnim intervalima, evidentiranjem broja vozila koja dolaze, odnosno odlaze sa parkinga. Na slici 3, procentualno je prikazana akumulacija parkiranja za ulična parkirališta koja se nalaze u centralnoj gradskoj zoni Novog Sada, u blizini izgrađenih parking garaža "Banovina" i "Modena", za period pre i nakon njihove izgradnje i puštanja u rad.

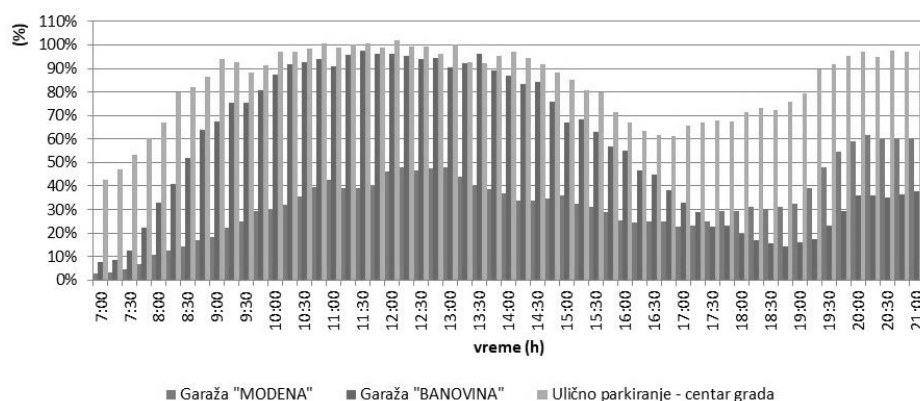
Na prikazanom grafiku se uočava da nije došlo do značajnijih promena u akumulaciji između dva posmatrana perioda i da je zadržan isti trend opterećenja parking kapaciteta, koji je najizraženiji u periodu od 9:00 h do 14:00 h, kao i u večernjem periodu, nakon 19:00 h. Primetno je da su tokom 2023. godine, zahtevi za parkiranjem u pojedinim periodima bili veći od postojećih kapaciteta, što znači da su se pojedina vozila parkirala nepropisno, izvan obeleženih parking mesta. Tokom istraživanja koje je sprovedeno 2025. godine, maksimalna akumulacija nije prelazila postojeći kapacitet posmatranih parkirališta. Budući da između dva posmatrana perioda ne postoji nikakva značajnija razlika u prikazanoj akumulaciji, može se zaključiti da izgradnja parking garaža nije imala nikakav poseban uticaj na rasterećenje uličnog parkirališta u posmatranoj uticajnoj zoni.



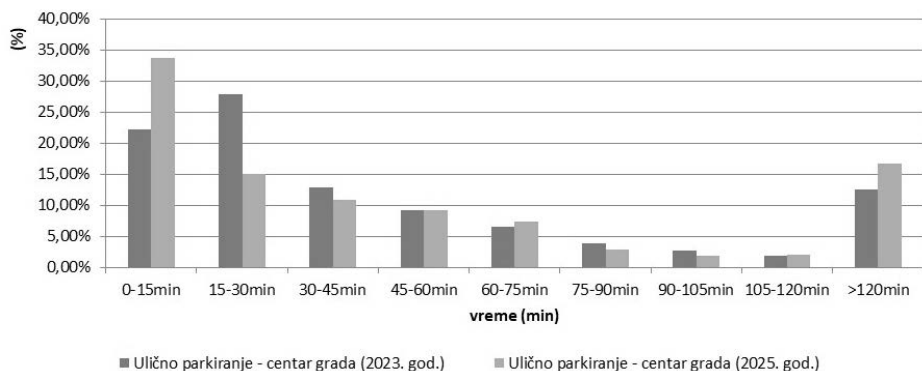
Slika 3. Akumulacija parkiranja za 2023. godinu i 2025. godinu za ulična parkirališta

Na narednoj slici prikazana je uporedna akumulacija za parking garaže “Modena” i “Banovina”, kao i za ulična parkirališta u neposrednoj blizini novoizgrađenih parking garaža. Sa dijagrama prikazanog na slici 4 se uočava da ulično parkiranje i dalje predstavlja dominantan oblik parkiranja. Zahtevi za parkiranjem značajni su i u parking garaži “Banovina”, u kojoj je potražnja u periodu od 10:00 h do 14:00 bliska kapacitetu ili je bliska iskorišćenju od 90 %. Sa druge strane, u parking garaži “Modena”, veći deo postojećih kapaciteta je neiskorišćen tokom dana, a najveće iskorišćenje se dostiže u večernjim satima, nakon 20:00 h, do maksimalno 60 %.

Još jedna od karakteristika parkiranja značajna za analizu jeste trajnost parkiranja. Trajnost parkiranja predstavlja vreme zadržavanja vozila na parkiralištu, pri čemu je posebno značajno posmatrati kratkotrajna i dugotrajna parkiranja, koja su karakteristična za određene zone parkiranja. Na slici 5. prikazana je trajnost parkiranja za ulična parkirališta u uticajnoj zoni parking garaža “Banovina” i “Modena”, za istraživanja sprovedena u 2023. godini i 2025. godini.



Slika 4. Akumulacija parkiranja za 2025. godinu za parking garaže i uticajna ulična parkirališta

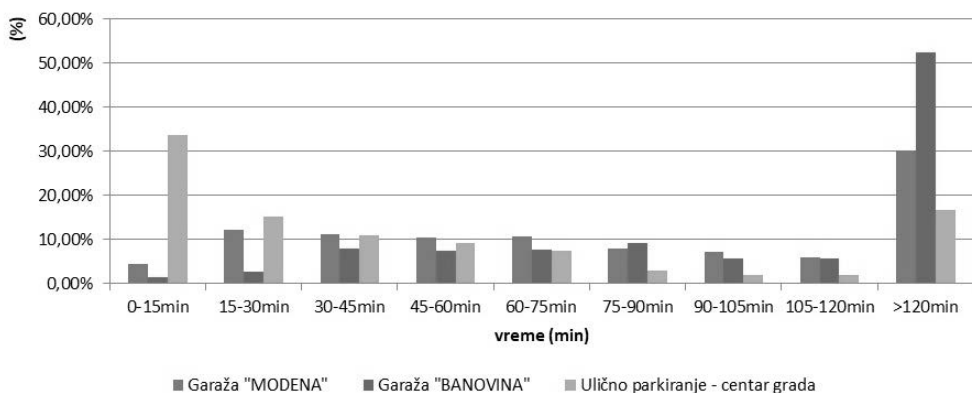


Slika 5. Trajnost parkiranja za 2023. godinu i 2025. godinu za ulična parkirališta

Analizom dobijenih podataka, zaključuje se da je najveća razlika prisutna u kratkotrajnom parkiranju u trajanju do 15 minuta i 15 do 30 minuta. Zadržavanje do 15 minuta se povećalo za oko 10 %, dok se oko broj korisnika koji se zadržavanja u periodu od 15 do 30 minuta smanjio za oko 13 %, u 2025. godini u odnosu na 2023. godinu. Procenat dugotrajnih parkiranja se povećao za oko 5 %.

U poređenju sa trajnošću parkiranja zabeleženim na uličnim parkirališnim kapacitetima, u posmatranim parking garažama su dominantna dugotrajna zadržavanja. Na dijagramu, sa slike 6, se uočava da su od ukupnih zahteva za parkiranjem, ispostavljenim ka parkirališnim kapacitetima u parking garaži "Modena", nešto više od 50 % dugotrajna zadržavanja, odnosno zadržavanja preko 2 časa. U parking garaži "Modena" procenat dugotrajnih zadržavanja je znatno manji i iznosi oko 30 %. Prikazana raspodela parkiranja između uličnih parkirališta i parking garaža, posmatrana prema trajnosti predstavlja pozitivnu karakteristiku parkiranja u posmatranoj zoni, budući da prioritet parkiranja na uličnim parkiralištima treba da imaju korisnici koji imaju potrebu za kratkotrajnim zadržavanjima.

Trajnost (15-minutna distribucija)



Slika 6 Trajnost parkiranja za 2025. godinu za parking garaže i uticajna ulična parkirališta

5 ZAKLJUČAK

Na osnovu prikazane analize postojećih rezultata istraživanja, najznačajniji zaključak je da izgradnjom parking garaža u centralnoj zoni nisu rasterećena ulična parkirališta. Akumulacija parkiranja ukazuje na činjenicu da je opterećenje parkirališnih kapaciteta u 2025. godini blisko opterećenju iz 2023. godine i da u posmatranom periodu nije došlo do preraspodele zahteva za parkiranjem, bez obzira na izgradnju novih parkirališnih kapaciteta. Iznenađujući je podatak da su se osim kratkotrajnih zadržavanja na uličnim parkiralištima, povećala i dugotrajna zadržavanja korisnika, odnosno zadržavanja preko 2 sata. Tarifnom politikom koja je usvojena za posmatrano područje, određeno je da parkirališta koja su predmet analize u ovom radu, pripadaju ekstra zoni u kojoj je dozvoljeno zadržavanje do 1 sat, onosno crvenoj zoni u kojoj je dozvoljeno zadržavanje korisnika parkiranja u trajanju do 2 sata. Prikazano povećanje korisnika koji se u posmatranoj zoni zadržavaju preko 2 sata, od 5 %, ukazuje na činjenicu da se u ovoj zoni povećao broj nepropisno parkiranih vozila, budući da u proteklom periodu nije bilo izdvajanja dodatnih mesta koja su rezervisana za posebne korisnike. Budućom politikom parkiranja u centralnoj zoni Novog Sada, a pre početka izgradnje novih parking garaža, trebalo bi da budu obuhvaćena pitanja koja se bave preraspodelom opterećenja posmatranih parkiraličnih kapaciteta i rasterećenjem uličnih parkirališta, pri čemu je posebnim merama neophodno preusmeriti dugotrajne korisnike na korišćenje parking garaža.

ZAHVALNICA

Rezultati prikazani u ovom radu su deo istraživanja projekta "Istraživanje trendova u razvoju održivih saobraćajnih i logističkih sistema", koji realizuje Departman za saobraćaj, Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Univerziteta u Novom Sadu, Republika Srbija.

LITERATURA

- [1] Papić Z., Simeunović M., Saulić N. (2022) Geneza problema parkiranja u Novom Sadu, XIII konferencija o TEhnikama Saobraćajnog Inženjerstva – TESI 2022, 13-14. oktobar, str. 347-352. <https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954585/TESi.2022.002>
- [2] Republički zavod za statistiku (internet adresa: <https://www.stat.gov.rs>)
- [3] <https://www.bestinparking.com/sr/rs/garage/garaza-banovina>
- [4] <https://www.bestinparking.com/sr/rs/garage/garage-modena>

SUMMARY

Analysis of the impact of newly built car parks on parking characteristics in the centre of Novi Sad

Abstract: The constant growth in the level of motorisation in Novi Sad, coupled with limited opportunities to expand existing parking capacity, has led to an increasing shortage of free parking spaces, particularly in central areas of the city. As part of the second phase of the Smart Plan traffic study, the need to build a total of 48 public parking garages in the city was recognised, eight of which are planned for the central city zone. Between 2022 and 2025, two public car parks were built: Garage Banovina and Garage Modena, which provided additional parking in the city centre. This paper analyses the impact of the newly built car parks on parking conditions in their immediate surroundings. This paper analyses the basic characteristics of parking, paying particular attention to parking durability and vehicle accumulation in car parks located within the zone of influence of the aforementioned garages. The research aims to determine whether the construction of new garage capacities has relieved existing street and off-street car parks, and to assess changes in car park characteristics after the garages were commissioned. The results obtained form the basis for assessing the effects of the measures taken so far and for justifying the further development of the planned garage capacities foreseen in the second phase of the Smart Plan study.

Key words: parking garages, accumulation, parking duration

Kako upravljanje parkiranjem oblikuje centralnu zonu Beograda – efekti, izazovi i smernice

Vladimir Čuljković, Saobraćajni fakultet, Beograd, v.culjkovic@sf.bg.ac.rs

Tijana Nikolić, Saobraćajni fakultet, Beograd, t.nikolic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Upravljanje parkiranjem u delu centralne zone Beograda tokom protekle dve decenije razvijalo se u skladu sa principima modernog i održivog saobraćaja. Primena mera poput zoniranja, tarifnog sistema, režima regulisanja parkiranja i unapređenja infrastrukture imala je za cilj da obezbedi efikasnije korišćenje prostora, poveća obrt parkiranja i poboljša dostupnost mesta za parkiranje. Očekivani efekti ovih politika ogledali bi se u smanjenju dugotrajnog zadržavanja vozila, boljoj kontroli zauzetosti parking mesta u najatraktivnijim delovima dana, kao i u usklađivanju sa promenama u stepenu motorizacije i režimima javnog prevoza.

Rad se fokusira na analizu toga u kojoj meri su primenjene mere doprinele ostvarivanju strateških ciljeva urbane mobilnosti, kroz sagledavanje njihovih efekata na funkcionisanje parkiranja, kretanje ljudi, prostornu strukturu i kvalitet života u delu centralne zone Beograda. Pored analize dosadašnjih rezultata i izazova, rad će ponuditi smernice za unapređenje stanja parkiranja i prevazilaženje postojećih problema.

Ključne reči: upravljanje parkiranjem, prostorna struktura, mobilnost, kvalitet života

1 UVOD

Razvoj održivog transporta predstavlja odgovor na probleme koji nastaju usled intenzivne upotrebe putničkih automobila, kao što su saobraćajna zagušenja, zauzimanje javnog prostora i zagađenje životne sredine. Jedna od važnih mera u okviru ovog pristupa jeste upravljanje parkiranjem, kojim se nastoji uticati na potražnju za parking prostorom, podstaći korišćenje javnog prevoza i nemotorizovanih vidova kretanja i smanjiti negativni uticaji automobilske saobraćaja. Zbog toga parkiranje predstavlja značajan deo politike održivog transporta u gradovima [1].

U Beogradu je ovaj problem posebno izražen u centralnoj zoni, koja predstavlja prostor sa velikom koncentracijom poslovnih, administrativnih i kulturnih sadržaja. Restriktivni sistem parkiranja uveden je 2003. godine na osnovu rezultata studije parkiranja [2], prvenstveno radi smanjenja dugotrajnog zauzimanja parking mesta i povećanja njihovog obrta. U narednim godinama režim je više puta menjan i proširivan, pri čemu je do 2009. godine izrađeno još sedam studija [3–9] koje su služile kao osnova za donošenje pojedinih odluka.

Nakon tog perioda promene sistema uglavnom nisu bile praćene sistematskim istraživanjima i analizom njihovih efekata. Istovremeno su se menjali i drugi elementi transportnog sistema – povećao se broj automobila [10], menjana je organizacija saobraćaja, a uvedene su i promene u sistemu javnog prevoza. Zbog toga je potrebno postojeći sistem parkiranja sagledati u odnosu na savremene uslove i potrebe grada.

Cilj ovog rada je analiza trenutnog stanja parkiranja u najužem centru Beograda, identifikovanje osnovnih problema postojećeg sistema i definisanje smernica za njegovo unapređenje. Krajnji cilj je doprinos efikasnijem upravljanju parkiranjem i održivijem funkcionisanju transportnog sistema Beograda.

2 UPRAVLJANJE PARKIRANJEM U CENTRALNOJ ZONI BEOGRADA

Restriktivni režim parkiranja u „Kruhu dvojke“ uveden je 2003. godine. U početku je sistem obuhvatao tri zone – crvenu, žutu i zelenu – sa maksimalnim vremenom parkiranja od 1, 2 i 3 sata. Režim naplate važio je radnim danima od 07:00 do 21:00 i subotom od 07:00 do 14:00 časova. Za razliku od uličnih parking mesta, vanulična parkirališta i garaže nisu imale vremensko ograničenje, ali su cene bile više.

Granice zona i uslovi parkiranja tokom narednih godina više puta su menjani. Cene su povećavane u skladu sa inflacijom, pa njihov realni rast nije pratio rast prihoda stanovništva. Prosečna neto zarada u Beogradu 2003. godine omogućavala je plaćanje 644 sata parkiranja u crvenoj zoni, dok je 2024. godine bilo moguće platiti 1.863 sata¹⁰. Istovremeno, cene na vanuličnim kapacitetima rastle su brže od cena uličnog parkiranja.

Značajnije izmene uvedene su 2016. godine produžavanjem vremena parkiranja uz višu cenu za dodatni period, dok je 2019. uvedena ljubičasta zona sa ograničenjem od 30 minuta i cenom od 100 RSD. Tokom 2025. godine reorganizovane su zone u delu centralnog područja i uvedena bela zona. Aktuelni režim obuhvata ljubičastu, crvenu i belu zonu, sa različitim vremenskim ograničenjima i periodima naplate.

Promene su obuhvatile i parking infrastrukturu. Deo vanuličnih parkirališta je ukinut, dok su pojedini kapaciteti izgrađeni, prošireni ili zamenjeni. Izgrađene su garaže Pionirski park, Baba Višnjina i Botanička bašta, a garaža Obilićev venac rekonstruisana i proširena. Na pojedinim ulicama parking mesta su uklonjena zbog promena u režimu saobraćaja, dok su preostala uređivana i dodatno zaštićena od nepropisnog parkiranja.

Unapređen je i sistem kontrole. Komunalna policija uvedena je 2010. godine, „pauk-video nadzor“ 2011, a od 2020. godine koristi se sistem „Oko sokolovo“. Pored toga, uvedeni su senzori na parking mestima, promenljiva signalizacija koja prikazuje broj slobodnih mesta i aplikacija „eParking“, koja omogućava pronalaženje i plaćanje parkinga.

Na funkcionisanje sistema značajno su uticale i promene izvan samog podsistema parkiranja. Broj putničkih automobila povećan je sa 337.825 u 2003. godini na 714.995 u 2024. godini [12]. Od 1. januara 2025. godine javni gradski prevoz je besplatan [13], dok su tokom iste godine uvedene i određene promene u režimu saobraćaja u centralnoj zoni. Sve navedeno menja uslove pod kojima funkcioniše sistem parkiranja i ukazuje na potrebu za njegovim ponovnim vrednovanjem.

3 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Metodologija istraživanja definisana je sa ciljem da se utvrdi postojeće stanje podsistema parkiranja i vrednosti najvažnijih pokazatelja njegovog funkcionisanja. Prikupljanjem i obradom relevantnih podataka omogućeno je objektivno sagledavanje problema i procena efikasnosti postojećeg sistema. Rezultati analize predstavljaju osnovu za definisanje mogućih pravaca njegovog unapređenja.

¹⁰ Prosečna neto zarada u Beogradu je bila 19.320 RSD 2003. godine, a 121.145 RSD 2024. godine [11]

3.1 Prostor istraživanja

Imajući u vidu ograničene ljudske i finansijske resurse, istraživanje je usmereno na deo uže centralne zone Beograda u kojem se primenjuje restriktivni režim parkiranja. Posmatrano područje obuhvata deo ljubičaste, crvene i bele zone (slika 1). Analizirana su isključivo javna ulična parking mesta.



Slika 1: Prostor istraživanja

Na posmatranim ulicama parkiranje je regulisano naplatom i vremenskim ograničenjem (u ljubičastoj zoni: 30 minuta, uz cenu od 120 RSD; u crvenoj zoni: 60 minuta, uz cenu od 80 RSD - mogućnost produženja za 30 minuta po ceni od 120 RSD; u beloj zoni: 120 minuta, uz cenu od 65 RSD - mogućnost produženja za 60 minuta po ceni od 180 RSD).

Za stanare, pravna lica i preduzetnike sa sedištem u zoni predviđene su povlašćene mesečne pretplatne karte (PPK). Stanarima se mogu izdati najviše dve, a pravnim licima i preduzetnicima do tri karte, pri čemu najviše jedna može biti vezana za vozilo zaposlenog. PPK omogućava neograničeno vreme parkiranja u odgovarajućoj zoni, ali ne garantuje slobodno parking mesto. Mesečna cena iznosi 500 RSD za stanare i 9.500 RSD u crvenoj i ljubičastoj, odnosno, 6.500 RSD u beloj zoni, za pravna lica i preduzetnike.

Osobama sa invaliditetom dostupna je invalidska pretplatna karta (IPK), koja omogućava besplatno i vremenski neograničeno parkiranje na posebno označenim mestima. Za određene kategorije korisnika postoji i mogućnost rezervacije parking mesta, o čemu odlučuje Sekretarijat za saobraćaj. Plaćanja su, pored pojedinih kategorija osoba sa invaliditetom, oslobođene i određene javne službe tokom interventnih aktivnosti.

Za nepoštovanje pravila parkiranja izdaje se dnevna karta u iznosu od 3.000 RSD. Ukoliko se obaveza izmiri u roku od 20 dana, korisnik ostvaruje pravo na umanjenje iznosa od 50%.

3.2 Metode i vremenski period istraživanja

Potrebni podaci prikupljeni su neposrednim terenskim snimanjem i korišćenjem javno dostupnih informacija sa zvaničnog sajta Parking servisa. Terenskim istraživanjem evidentirana su sva regulisana ulična parking mesta i ukupna akumulacija vozila.

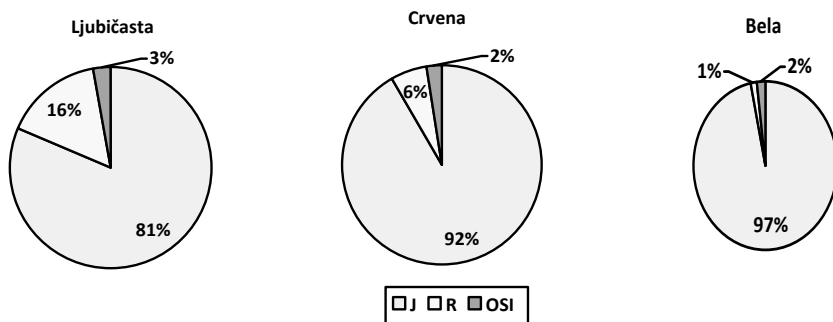
Akumulacija je utvrđivana u dva karakteristična preseka: oko 02:00 časa, kada se pretpostavlja da najveći deo parkiranih vozila pripada stanovnicima zone, i oko 12:30 časova, kada se očekuje najveća dnevna potražnja za parkiranjem. Za svako vozilo registrovano je da li se nalazi na dozvoljenom parking mestu ili na površini na kojoj parkiranje nije dozvoljeno.

Ostali pokazatelji funkcionisanja sistema analizirani su na reprezentativnom uzorku uličnih frontova, u periodu od 06:00 do 22:00 časa, korišćenjem brojačkih obrazaca i elektronskih anketa. Istraživanje su tokom aprila i maja 2026. godine sprovedli studenti Saobraćajnog, Mašinskog i Filološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

4 ANALIZA I OCENA STANJA PARKIRANJA U CENTRALNOJ ZONI BEOGRADA I MOGUĆI PRAVCI NJEGOVOG UNAPREĐENJA

Ovo poglavlje obuhvata analizu i kritičko sagledavanje dobijenih rezultata, sa posebnim osvrtom na ključne slabosti aktuelnog sistema, kao i na mogućnosti i smernice za njegovo dalje unapređivanje.

Rezultati pokazuju da postojeći sistem parkiranja u posmatranoj zoni nije dovoljno efikasan. Jedan od problema je nepovoljna struktura parking kapaciteta. Na posmatranim uličnim frontovima regulisano je ukupno 2521 parking mesto (791 u ljubičastoj, 1118 u crvenoj i 612 u beloj zoni). Od toga, 2259 mesta namenjeno je javnom korišćenju (643 u ljubičastoj, 1024 u crvenoj i 592 u beloj zoni), 201 je rezervisano (126 u ljubičastoj, 67 u crvenoj i 8 u beloj zoni), dok je 61 mesto (22 u ljubičastoj, 27 u crvenoj i 12 u beloj zoni) predviđeno za osobe sa invaliditetom (OSI). Struktura parking mesta na uličnim frontovima prema njihovoj nameni prikazana je na slici 2.



Slika 2: Raspodela parking mesta na uličnim frontovima prema načinu korišćenja

Učešće rezervisanih mesta u ukupnom broju uličnih mesta u ljubičastoj i crvenoj zoni je iznad preporučenih 5% [2], dok mesta namenjena za OSI učestvuju sa svega 2 do 3%, što je manje od propisanog minimuma od 5% [14]. Usklađivanjem sa preporukama i propisima moglo bi se ukinuti oko 80 rezervisanih mesta u ljubičastoj i oko 11 u crvenoj zoni i obezbediti dodatna mesta za OSI (18 u ljubičastoj, 26 u crvenoj i 22 u beloj zoni). Na taj način broj javno dostupnih mesta mogao bi da se poveća za približno 50.

Tabela 1 prikazuje akumulaciju i stepen iskorišćenja javnih parking mesta na uličnim frontovima u karakterističnim vremenskim presecima.

Tabela 1: Akumulacije parkiranja i iskorišćenja uličnih parking mesta

Zona	Vremenski presek	Akumulacije			Broj parking mesta	Koeficijenti iskorišćenja	
		Reg.	Nereg.	Uk.		Reg.	Uk.
Ljubičasta	Podne	643	111	754	643	1,00	1,17
	Jutro	643	51	694		1,00	1,08
Crvena	Podne	996	70	1066	1024	0,97	1,04
	Jutro	978	30	1008		0,96	0,98
Bela	Podne	562	79	641	592	0,95	1,08
	Jutro	560	55	615		0,95	1,04

Regularna mesta namenjena javnoj upotrebi bila su potpuno (ljubičasta zona) ili gotovo potpuno (crvena i bela zona) popunjena i u jutarnjem i u podnevnom periodu, pri čemu je zabeleženo i parkiranje na nedozvoljenim površinama. U periodu najveće potražnje, oko podneva, između 7% i 15% vozila bilo je parkirano nepropisno, dok je koeficijent iskorišćenja u sve tri zone bio veći od 1 (1,17 u ljubičastoj, 1,04 u crvenoj i 1,08 u beloj zoni). Zbog prostornih ograničenja uličnih profila i postavljenog mobilijara, mogućnosti za dodatno nepropisno parkiranje su ograničene, pa se može zaključiti da u vršnom periodu ulični sistem funkcioniše praktično na granici kapaciteta.

Na visoko opterećenje sistema ukazuju i sledeći pokazatelji:

- tokom najatraktivnijeg perioda u toku dana, od 09:00 do 16:00 iskorišćenje uličnih parking mesta bilo je veće od 100%, a u ostatku perioda primene režima, od 07:00 do 22:00 časa, nije bilo manje od 96%;
- između od 64% i 69% korisnika nakon dolaska u zonu traži slobodno parking mesto, a korisnicima koji ga pronadu za to je u proseku potrebno oko 9 minuta;
- kao najvažniji element kvaliteta usluge korisnici u sve tri zone izdvajaju mogućnost pronalaženja slobodnog parking mesta, sa prosečnom ocenom između 3 i 3,7 od 4.

Poseban problem je nedovoljan kapacitet za stanovnike u ljubičastoj i beloj zoni, dok je crvena na granici kapaciteta. To znači da u ljubičastoj i beloj zoni nije ispunjen osnovni uslov za efikasan restriktivni režim – dovoljan broj mesta za vozila stanovnika [15]. Ipak, ukidanje režima ne bi predstavljalo dobro rešenje, jer bi verovatno dovelo do još većeg kruženja u potrazi za parkingom, manjeg obrta, dodatnog saobraćajnog opterećenja i slabijeg korišćenja alternativnih načina prevoza. Prilikom uvođenja režima 2003. godine ovaj uslov je bio ispunjen [2], ali je kasniji rast broja automobila stanovnika, sa mogućnošću kupovine dve povlašćene PPK po stanovniku, doveo do njegovog narušavanja. Kao kratkoročna mera može se razmotriti smanjenje udela rezervisanih mesta na preporučenih 5%, čime bi se gotovo u potpunosti nadomestio trenutni nedostatak za stanovnike. Dugoročno, potrebno je uticati i na broj vozila stanovnika. Jedna od mogućnosti je promena tarifne politike PPK, tako da samo prvo vozilo ima pravo na povlašćenu cenu, dok bi svaka naredna karta bila znatno skuplja. Nakon toga moglo bi se razmotriti ograničenje na jednu PPK po stanovniku, odnosno domaćinstvu.

Problem predstavlja i činjenica da veliki broj vozila stanovnika ne napušta parking mesta tokom dana (tabela 2), ostavljajući posetiocima svega oko 30% javnih parking mesta.

Istovremeno, značajan deo posetilaca dugo zauzima parking mesta. Deo njih koristi PPK, dok drugi prekoračuju dozvoljeno vreme ili parkiranje uopšte ne plaćaju. Posledica je nizak obrt parking mesta. Obrt posetilaca se smanjio za između 23% i 36% u odnosu na vrednosti zabeležene u crvenoj, žutoj i zelenoj zoni 2007. godine¹¹ (7, 6,4 i 5,3 redom). Iako je današnji režim stroži, ostvareni efekti su slabiji. Ovo ukazuje na potrebu za postepenim smanjenjem broja ili teritorije važenja PPK za korisnike koji dugotrajno zauzimaju mesta, kao i za efikasnijom kontrolom.

Tabela 2: Karakteristike funkcionisanja parkiranja na uličnim frontovima u periodu važenja režima

Zona	Broj mesta	Obim		Srednje trajanje (min.)		Obrt		% stan. ne napušta pm	% stan. u akumul. podne
		Korisnici	Posetioci	Korisnici	Posetioci	Korisnici	Posetioci		
Ljubičasta	643	1870	925	349	104	2,5	4,5	64	71
Crvena	1024	3073	1705	292	124	2,9	4,1	64	62
Bela	592	1862	1093	296	143	2,9	4,1	75	63

Nedovoljna kontrola vidljiva je i kroz veliki broj prekoračenja vremena i slučajeva neplaćanja. Pošto nisu bili dostupni podaci o registarskim oznakama vozila i njihovom statusu u pogledu PPK ili plaćanja po satu, način plaćanja utvrđivan je na osnovu odgovora iz ankete. Od posetilaca koji su naveli da plaćaju parkiranje, oko 80% je koristilo satnu kartu, dok su ostali koristili PPK za pravna lica ili PPK za stanare. Oko 9% ispitanika izjavilo je da nije platilo parkiranje.

Atraktivnost zona procenjena je poređenjem jutarnje i podnevne akumulacije. Dobijeni koeficijenti atraktivnosti (1,08 u ljubičastoj, 1,06 u crvenoj i 1,04 u beloj zoni) ukazuju da se analizirano područje može svrstati u atraktivne zone. Tokom perioda važenja režima, na uličnim frontovima realizovano je ukupno 1870 parkiranja u ljubičastoj, 3073 u crvenoj i 1862 u beloj zoni, uz prosečan obrt od 2,5 u ljubičastoj i 2,9 u crvenoj i beloj zoni (tabela 2).

Prosečno trajanje parkiranja svih posetilaca iznosilo je 104 minuta u ljubičastoj, 124 u crvenoj i 143 u beloj zoni. Poštovanje vremenskog ograničenja analizirano je kod posetilaca koji parkiranje plaćaju po satu. Utvrđeno je da 32% njih u ljubičastoj, 33% u crvenoj i 23% u beloj zoni prekoračuje dozvoljeno vreme. Visok udeo neplaćanja, kao i prekoračenje propisanog vremenskog ograničenja parkiranja, može se povezati sa relativno malom verovatnoćom sankcionisanja, koja je prema podacima iz 2024. godine iznosila oko 24% [16], kao i sa relativno niskim iznosom dnevne karte. Za ovaj deo istraživanja nisu bili dostupni podaci o broju kontrolora niti o učestalosti prolazaka vozila „Okolo“¹¹, pa bi njihovu organizaciju trebalo dodatno analizirati. Sličan problem postoji i kod parkiranja na nedozvoljenim površinama, što ukazuje na potrebu za efikasnijim nadzorom Saobraćajne policije. Ukoliko raspoloživi kapaciteti MUP-a to ne omogućavaju, u skladu sa važećim propisima [17, 18] može se razmotriti poveravanje dela poslova kontrole drugim nadležnim subjektima.

¹¹ Poređenje sa zonama iz 2007. godine treba posmatrati kao pokazatelj trenda, jer se tadašnje granice zona ne podudaraju u potpunosti sa današnjim zonama, a razlikuje se i period važenja režima.

Ukoliko organizacione i kontrolne mere ne daju očekivane rezultate, moguće je primeniti i promene cena parkiranja, zajedno sa drugim merama upravljanja transportnom potražnjom. Cilj povećanja cene ne bi bio potpuno odvratan korisnika, već usklađivanje potražnje sa raspoloživim kapacitetom. Rezultati ankete pokazuju da je u zavisnosti od zone između 30% i 50% korisnika osetljivo na cenu parkiranja pa se njome može upravljati zahtevima pri čemu bi cenovnu politiku trebalo posmatrati integrisano, odnosno usklađivati cene i uslove parkiranja između različitih zona i tipova parking kapaciteta.

5 ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja pokazuju da postojeći sistem upravljanja parkiranjem u centralnoj zoni Beograda ne ostvaruje u dovoljnoj meri ciljeve efikasnog korišćenja parking kapaciteta. Uprkos restriktivnom režimu, prisutni su visok nivo nepropisnog parkiranja, dugo zadržavanje vozila i značajno vreme potrage za slobodnim mestom, što dodatno opterećuje saobraćajni sistem.

Kao ključni problemi izdvajaju se nepovoljna raspodela parking mesta, veliki udeo rezervisanih mesta, nedovoljan broj mesta za osobe sa invaliditetom i nesklad između potreba stanovnika i raspoloživog kapaciteta. Dugotrajno zauzimanje mesta smanjuje mogućnost kratkotrajnog parkiranja i negativno utiče na obrt parkiranja, dok nedovoljna kontrola i mala verovatnoća sankcionisanja podstiču prekoračenje vremena i neplaćanje parkiranja.

Dosadašnje promene režima nisu uvek bile zasnovane na sistematskim analizama, niti je dovoljno praćen njihov uticaj na stanje na terenu. Rast stepena motorizacije i promene u drugim delovima transportnog sistema dodatno su menjali potrebe za parkiranjem.

Za unapređenje sistema potreban je integrisan pristup koji obuhvata racionalizaciju strukture parking mesta, ograničavanje i drugačije tarifiranje povlašćenih karata, posebno za korisnike sa više vozila, kao i preispitivanje njihovog broja kod pravnih lica. Posebnu pažnju treba posvetiti efikasnijoj kontroli i doslednom sankcionisanju prekršaja.

Cenovna politika treba da bude jedan od osnovnih instrumenata upravljanja potražnjom. Cene uličnog parkiranja, garaža i susednih zona potrebno je uskladiti radi ravnomernijeg korišćenja raspoloživih kapaciteta. Smanjenje zavisnosti od automobila zahteva i šire mere, poput unapređenja javnog prevoza, podsticanja pešačkog i biciklističkog saobraćaja i ograničavanja pristupa automobilima u najopterećenijim delovima grada.

Unapređenje upravljanja parkiranjem može doprineti smanjenju saobraćajnih zagušenja, efikasnijem korišćenju postojeće infrastrukture i poboljšanju kvaliteta urbanog prostora. Ipak, rezultate i predložene mere treba posmatrati kao preliminarne, jer je istraživanjem obuhvaćen samo deo centralne zone. Za konačne zaključke i sveobuhvatne mere potrebno je sprovesti istraživanje na celom području na kojem se primenjuje restriktivni režim parkiranja.

LITERATURA

- [1] European Union (EU) (2005). Parking policies and the effects on economy and mobility. In: Technical Committee on Transport, Report on COST Action, 342.DfT. (2007). Design Manual for Roads and Bridges - Environmental Assessment Techniques (Vol. 11). UK.
- [2] Milosavljević, N., Putnik, N., Čuljковиć, V., Vujić, D. (2003). Studija: Istraživanje

- karakteristika parkiranja u centralnoj zoni Beograda sa predlogom mera za poboljšanje uslova parkiranja, Naručilac: Grad Beograd, Gradska uprava, Sekretarijat za saobraćaj. Izvršilac: Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet
- [3] Milosavljević, N., Putnik, N., Čuljković, V., Vujin, D. (2004). Efekti uvođenja zonskog sistema parkiranja u Krug dvojke - I faza. Naručilac: Grad Beograd, Gradska uprava, Sekretarijat za saobraćaj. Izvršilac: Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet.
- [4] Milosavljević, N., Putnik, N., Čuljković, V., Vujin, D. (2005). Proširenje zone u kojoj važi restriktivni režim parkiranja. Naručilac: Grad Beograd, Gradska uprava, Sekretarijat za saobraćaj. Izvršilac: Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet.
- [5] Milosavljević, N., Čuljković, V., Vujin, D., Štifanić, I. (2007). Analiza efekata uvođenja zonskog sistema parkiranja u Krug dvojke – II faza. Naručilac: Grad Beograd, Gradska uprava, Sekretarijat za saobraćaj. Izvršilac: Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet.
- [6] Milosavljević, N., Simićević, J., Maletić, G., Kaplanović, S., Štifanić, I. (2008). Analiza tarifa u parkiranju kao element upravljanja saobraćajem. Naručilac: Grad Beograd, Gradska uprava, Sekretarijat za saobraćaj. Izvršilac: Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet.
- [7] Milosavljević, N., Simićević, J., Maletić, G., Kaplanović, S., Štifanić, I. (2008). Upravljanje parkiranjem kroz redefinisane režima van postojećih zona restriktivnog režima parkiranja. Naručilac: Grad Beograd, Gradska uprava, Sekretarijat za saobraćaj. Izvršilac: Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet.
- [8] Milosavljević, N., Krstić, P., Maletić, G., Simićević, J., Vujin, D., Gavrilović, S., Tubić, V., Zdravković, P., Štifanić, I. (2008). Idejni projekat sa procenom izvodljivosti uvođenja sistema „Park&Ride“. Naručilac: Grad Beograd, Gradska uprava, Sekretarijat za saobraćaj. Izvršilac: Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet
- [9] Milosavljević, N., Simićević, J., Maletić, G., Krstić, P., Depolo, V., Jović, J., Vujin, D., Štifanić, I. (2009). Prilozi strategiji upravljanja parkiranjem. Naručilac: Grad Beograd, Gradska uprava, Sekretarijat za saobraćaj. Izvršilac: Univerzitet u Beogradu Saobraćajni fakultet.
- [10] Republički zavod za statistiku Srbije. Publikacije. (on-line) dostupno na: <https://www.stat.gov.rs/sr-Latn/oblasti/saobracaj-i-telekomunikacije/registrovana-vozila> (18. 07. 2026)
- [11] Republički zavod za statistiku Srbije. Publikacije. (on-line) dostupno na: <https://www.stat.gov.rs/sr-latn/oblasti/trziste-rada/zarade> (09. 03. 2026)
- [12] Republički zavod za statistiku Srbije. Publikacije. (on-line) dostupno na: <https://www.stat.gov.rs/sr-Latn/oblasti/saobracaj-i-telekomunikacije/registrovana-vozila> (10. 08. 2026)
- [13] Službeni list Grada Beograda br. 161/2024. (on-line) dostupno na: <https://www.slistbeograd.rs/pdf/2024/161-2024.pdf#view=Fit&page=1> (10. 03. 2026)
- [14] Pravilnik o tehničkim standardima planiranja, projektovanja i izgradnje objekata, kojima se osigurava nesmetano kretanje i pristup osobama sa invaliditetom, deci i starim osobama. ("Sl. glasnik RS", br. 22/2015 i 10/2026).
- [15] Milosavljević, N., Simićević, J. 2023. Parkiranje. Osnovni udžbenik, treće izdanje. Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, 216 str.
- [16] Simićević, J., Čuljković, V., Nikolić, T. (2025). Stanje parkiranja u užoj centralnoj zoni Beograda, Tehnika - Saobraćaj 72 (3): 317–324.
- [17] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima. ("Sl. glasnik RS", br. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - odluka US, 55/2014, 96/2015 - dr. zakon, 9/2016 - odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - dr. zakon, 87/2018, 23/2019, 128/2020 - dr. zakon, 76/2023 i 19/2025).
- [18] Zakon o komunalnim delatnostima. ("Sl. glasnik RS", br. 88/2011, 104/2016, 95/2018 i 94/2024).

SUMMARY

How Parking Management Shapes Belgrade's Central Zone – Effects, Challenges, and Guidelines

Abstract: Over the past two decades, parking management in part of Belgrade's central zone has evolved in accordance with the principles of modern and sustainable transport. The implementation of measures such as parking zoning, pricing policies, parking regulations, and infrastructure improvements has aimed to ensure more efficient use of urban space, increase parking turnover, and improve parking availability. The expected effects of these policies include reducing long-term vehicle occupancy, improving the management of parking space availability during the most demanding periods of the day, and adapting the parking system to changes in motorization levels and public transport conditions.

The paper focuses on assessing the extent to which the implemented measures have contributed to achieving strategic urban mobility objectives by examining their effects on parking operations, travel behavior, spatial structure, and quality of life in part of Belgrade's central zone. In addition to analyzing the results achieved so far and the challenges encountered, the paper proposes guidelines for improving parking conditions and addressing the existing problems..

Key words: parking management, spatial structure, mobility, quality of life

Naplata ulaska u centralnu zonu u funkciji upravljanja parkiranjem

Tijana Nikolić, Saobraćajni fakultet, Beograd, t.nikolic@sf.bg.ac.rs

Jelica Komarica, Saobraćajni fakultet, Beograd, j.komarica@sf.bg.ac.rs

Rezime: Suočeni sa izazovima ubrzanog razvoja urbanih sredina, mnogi saobraćajno zagušeni gradovi sve više teže primeni održivih mera upravljanja mobilnošću kao odgovor na rastuće saobraćajne zahteve i ograničene infrastrukturne i parking kapacitete. Destimulišući upotrebu putničkih automobila, naplata zagušenja predstavlja sve češći izbor donosioca odluka u uspostavljanju održivog transportnog sistema, podstičući korisnike da pređu na upotrebu ekološki prihvatljivijih vidova prevoza. Ova restriktivna („push“) mera zasniva se na principu da korisnici koji doprinose stvaranju zagušenja i, posledično, problemima u podsistemu parkiranja u centralnim zonama gradova ujedno snose i deo društvenih troškova koje generišu kroz plaćanje naknade za pristup i korišćenje najopterećenijih urbanih zona. Imajući u vidu da različite kategorije korisnika ne doprinose u istoj meri saobraćajnim i parking problemima, efekti naplate zagušenja mogu u značajnoj meri zavisiti od njihovog transportnog ponašanja i karakteristika parkiranja. S tim u vezi, cilj ovog rada jeste uporedna analiza uticaja hipotetičkog uvođenja naplate zagušenja na zahteve za parkiranje različitih grupa korisnika klasifikovanih prema statusu parkiralista koje koriste i motivu parkiranja. Oslanjajući se na rezultate anketnog istraživanja, ovaj rad nastoji da ispita u kojoj meri nametanje dodatnih troškova korisnicima putničkih automobila prilikom ulaska u centralnu zonu Beograda može uticati na promene u ponašanju, uključujući odluku o korišćenju putničkih automobila i izbor alternativnih vidova prevoza. Posebna pažnja posvećena je sagledavanju potencijalnih razlika u reakcijama kako korisnika sa povremenim aktivnostima unutar zone i većom fleksibilnošću prilikom putovanja, tako i korisnika koje dominantno karakterišu svakodnevna, radna kretanja. Rezultati istraživanja treba da doprinesu boljem razumevanju efekata naplate zagušenja i njenog potencijala kao alata za smanjenje zavisnosti od automobila, destimulisanje dugotrajnog parkiranja, efikasnije korišćenje parking kapaciteta i ostvarivanje ciljeva održivog urbanog razvoja.

Ključne reči: upravljanje mobilnošću, naplata zagušenja, korisnici parking mesta, transportno ponašanje, održiva urbana mobilnost

1 UVODNA RAZMATRANJA

Ubrzana urbanizacija, rast stepena motorizacije i koncentracija aktivnosti u centralnim gradskim zonama, uz ograničene kapacitete ulične mreže i parking infrastrukture, doprinose saobraćajnim zagušenjima, problemima parkiranja i povećanju negativnih uticaja na životnu sredinu. Budući da se svako putovanje putničkim automobilom završava parkiranjem, problemi saobraćajnih zagušenja i parkiranja međusobno su povezani.

Savremeni koncept upravljanja urbanim transportnim sistemom, zasnovan na principima održivog razvoja, podrazumeva integrisano delovanje njegovih podsistema radi ostvarivanja zajedničkih ciljeva definisanih na nivou celokupnog sistema. Jedan od

osnovnih pravaca takvog pristupa jeste upravljanje vidovnom raspodelom, odnosno ograničavanje upotrebe putničkog automobila uz istovremeno povećanje učešća alternativnih vidova prevoza. U tom smislu, mere primenjene u pojedinim podsistemima nisu usmerene isključivo na rešavanje problema unutar njih, već treba da doprinesu i ostvarivanju ciljeva transportnog sistema u celini.

Ovakav pristup posebno je značajan za rešavanje problema parkiranja u centralnim gradskim zonama, u kojima ograničeni kapaciteti za parkiranje onemogućavaju zadovoljenje svih zahteva korisnika. Jedan od osnovnih ciljeva upravljanja parkiranjem u ovim zonama jeste destimulisanje dugotrajnog parkiranja, prvenstveno uzrokovanog radnim kretanjima, uz istovremeno obezbeđivanje uslova za zadovoljenje zahteva kvalifikovane potražnje. Međutim, smanjenje zahteva za parkiranje nije uvek uslovljeno primenom mera politike parkiranja, već može biti rezultat sprovođenja *push* i *pull* mera upravljanja mobilnošću usmerenih na destimulisanje korišćenja putničkog automobila. Postizanjem efekta smanjenja njegovog učešća u vidovnoj raspodeli, neposredno se utiče na manji broj putovanja koja se završavaju unutar zone, a time i na smanjenje zahteva za parkiranje. Među merama upravljanja mobilnošću kojima se takav efekat može ostvariti izdvaja se naplata zagušenja [1]. U zavisnosti od primenjenog modela, sistemi naplate zagušenja mogu se razlikovati prema tarifnom režimu, vremenu primene i obuhvatu korisnika, dok se naknada može utvrđivati na dnevnom nivou ili prema broju ulazaka u zonu. Kod zonskog modela naplate obuhvaćeni su svi korisnici koji automobilom pristupaju zoni, nezavisno od toga da li se njihovo putovanje unutar nje završava ili predstavlja tranzitno kretanje. Pri tome, korisnici koji putovanje automobilom završavaju unutar zone, posledično generišu i zahtev za parkiranjem. S tim u vezi, poseban značaj ove mere proizlazi iz njenog šireg obuhvata korisnika u odnosu na naplatu parkiranja. Naime, naplatom parkiranja neposredno se utiče na korisnike javnih parking mesta, dok privatna i namenska parking mesta ostaju izvan kontrole lokalnih vlasti, što ograničava njen uticaj [2]. Nasuprot tome, naplata zagušenja obuhvata sve korisnike koji zoni naplate pristupaju automobilom, čime se njen obuhvat proširuje i na korisnike privatnih i namenskih parking mesta.

Ipak, obuhvatanje različitih kategorija korisnika istom naknadom ne podrazumeva i njihovu jednaku reakciju. Zato se motiv putovanja i status parkirališta izdvajaju kao relevantni parametri za sagledavanje razlika u reakcijama korisnika. Pored motiva, značaj statusa parkirališta proizilazi iz različite uloge pojedinih kategorija parking kapaciteta u politici parkiranja, koja podrazumeva smanjenje zahteva za parkiranje na uličnim i namenskim parking mestima i povećanje atraktivnosti javnih garaža. Polazeći od navedenog, cilj ovog rada jeste analiza uticaja hipotetičkog uvođenja naplate zagušenja u vidu naplate ulaska automobilima u CZ Beograda na zahteve za parkiranje, uz osvrt na razlike u reakcijama korisnika prema motivu i statusu parkirališta koje koriste. Time se nastoji sagledati potencijal naplate da, pored svoje primarne uloge u upravljanju transportnim zahtevima, utiče i na zahteve za parkiranje različitih kategorija korisnika.

2 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Imajući u vidu da efekti naplate zagušenja mogu u značajnoj meri zavisiti od transportnog ponašanja i karakteristika parkiranja različitih kategorija korisnika, ovo istraživanje nastoji da primenom binarnih logit modela utvrdi u kojoj meri hipotetičko

uvođenje naplate zagušenja utiče na odluku o korišćenju putničkog automobila, odnosno na koje kategorije korisnika ova mera ima najveći uticaj.

2.1 Područje istraživanja

Usled intenzivnog urbanog razvoja i približno 715.000 putničkih automobila, Beograd se svakodnevno suočava sa saobraćajnim zagušenjima i rastućom potražnjom za parkiranjem. Uprkos primeni različitih režima parkiranja, ovi problemi su i dalje najizraženiji u centralnoj zoni, usled postojanja neravnoteže između saobraćajnih zahteva i postojećih uličnih i parking kapaciteta. Takvo stanje saobraćajnog sistema predstavlja rezultat istorijski formirane urbane strukture saobraćajnica, neadekvatnog upravljanja parkiranjem, ali i nedovoljne i neujednačene ponude parking kapaciteta za različite kategorije korisnika. Imajući to u vidu, područje istraživanja obuhvatilo je centralnu zonu Beograda (CZ) koja čini staro gradsko jezgro oivičeno trasom tramvajske linije broj 2 (Slika 1) koju karakteriše teritorijalna pokrivenost od približno 282ha, sa oko 87.448 stanovnika.

U trenutku sprovođenja istraživanja, ponudu sistema parkiranja činilo je 11.500 uličnih parking mesta, 2.024 mesta u javnim garažama i 146 mesta na vanuličnim parkiralištima, koja su bila podjednako dostupna svim korisnicima CZ uz različitu novčanu naknadu. Uzimajući u obzir ulični front, predmetno područje obuhvatalo je tri parking zone (Slika 2), odnosno zonu A, crvenu zonu i žutu zonu, koje su se razlikovale prema vremenskom ograničenju i ceni parkiranja. U zavisnosti od režima odabrane parking zone, posetiocima CZ je bilo dozvoljeno parkiranje u trajanju od 30 min (100 din), 1h (60 din) uz mogućnost produženog parkiranja od 30 min (100 din) i 2h (53 din/h), uz mogućnost produženog parkiranja od 1h (180 din).



Slika 1: Područje istraživanja



Slika 2: Režimi parkiranja

Za razliku od posetilaca, stanovnici zoniranog područja, kao i pravna lica i preduzetnici sa sedištem unutar zone, imali su pravo na kupovinu povlašćene mesečne parking karte (PPK). Međutim, iako posedovanje ove karte nije obezbeđivalo rezervisano niti garantovano parking mesto, njenim korisnicima je omogućavalo da raspoloživo mesto koriste bez vremenskog ograničenja. Mesečna naknada za stanovnike iznosila je 500 dinara, dok je za pravna lica i preduzetnike zavisila od parking zone (u zoni A i crvenoj zoni naknada je iznosila 9.500 din/mesečno, dok je u žutoj zoni iznosila 6.500 din/mesečno). Pored raspoloživih parking kapaciteta na uličnom frontu, dostupna parking mesta na teritoriji posmatranog područja nalazila su se i unutar 4 parking garaže i 2 vanulična parkirališta (Slika 1). Međutim, cene za parkiranje po započetom satu bile su i do dva puta

veće u odnosu na cenu parkiranja na ulici (100 din/h ili 120 din/h). Takođe, pored plaćanja parkiranja po satu, korisnicima je bila dostupna i kupovina mesečne pretplate, čije su se vrste i iznosi razlikovali, ali su bili znatno viši u odnosu na naknade za parkiranje na ulici.

2.2 Prikupljanje podataka

Stavovi korisnika utvrđeni su anketiranjem, u periodu od marta do avgusta 2024. godine, pomoću online upitnika. Ciljnu grupu činili su svi posetioci CZ koji poseduju i koriste putnički automobil za sva putovanja u Beogradu. Istraživanjem su obuhvaćene različite grupe korisnika, klasifikovane prema statusu parkirališta, koje parkiranje realizuju na javnim mestima: uličnom frontu (UF) i u parking garažama, kao i na namenskim parking mestima. Radi dobijanja reprezentativnog uzorka, upitnik je poslat odabranim preduzećima i fakultetima, studentima, penzionerima kao i korisnicima društvenih mreža.

Upitnik je bio podeljen na tri dela, kombinujući pitanja o izraženim i izjavljenim preferencijama. Prvi deo je sadržao pitanja o sociodemografskim i ekonomskim karakteristikama korisnika, dok se drugi fokusirao na pitanja o karakteristikama kretanja u odnosu na CZ i statusu parkirališta korisnika. Poslednji deo bio je usmeren na utvrđivanje stavova korisnika u pogledu promene ponašanja usled hipotetičkog uvođenja naplate zagušenja u CZ, odnosno naknade za ulazak putničkim automobilom u CZ.

Pored postojećih troškova parkiranja, svim korisnicima centralne zone, izuzev stanovnika, bila bi nametnuta dodatna naknada za ulazak putničkim automobilom u CZ tokom radnih dana, ne uključujući vikend. Visina naknade iznosila bi 150 din i važila bi ceo dan, a njena visina utvrđena je na osnovu detaljne analize naknada ove transportne politike u drugim zemljama, ekonomskim karakteristikama stanovnika Beograda i pilot istraživanja. Korisnicima koji bi izrazili negativan stav prema hipotetičkom uvođenju naplate zagušenja u CZ, ponuđena je mogućnost izbora jedne od sledećih alternativa: promena krajnje destinacije, vremena putovanja u periodu kada se naplata ne primenjuje, zatim promena vida prevoza, mesta parkiranja (obod zone) ili odustajanje od putovanja.

3 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Uzorak je činilo 499 stanovnika Beograda, sa nešto većim učešćem muškaraca (53,8%) i ispitanika starosti 26-35 (27,9%) i 36-45 godina (28,6%). Među njima, 40,7% svoja radna kretanja (posao/škola/fakultet) realizuje unutar CZ, dok se nešto veći udeo ispitanika (59,3%) u CZ kreće u ostale svrhe (kupovina, rekreacija, zabava itd.).

Posmatrano prema statusu parkirališta (Tabela 1), korišćenje javnih parking mesta prilikom radnih i kretanja u ostale svrhe (54,2% i 77,5%, redom) zastupljenije je od namenskih parking mesta (45,8% i 22,4%, redom), pri čemu je ta razlika znatno izraženija kod kretanja u ostale svrhe. Opređeljujući se za javna mesta, korisnici koji realizuju radna kretanja nešto češće biraju ulični front (29,6%) nego parking garaže (24,6%), dok kod kretanja u ostale svrhe dominira korišćenje parking garaža (46,4%) u odnosu na ulični front (31,1%). Na uličnom frontu, najveće učešće parkiranja kod oba motiva zabeleženo je u Zoni 2, koju karakteriše najmanje vremensko ograničenje parkiranja.

Tabela 1: Karakteristike parkiranja korisnika u zavisnosti od motiva putovanja u CZ

Motiv putovanja	Radna kretanja		Kretanja u ostale svrhe	
	n	%	n	%
Javna parking mesta				
Ulični front	60	29,6%	92	31,1%
Zona A	4	2,0%	5	1,7%
Zona 1	7	3,4%	27	9,1%
Zona 2	49	24,1%	60	20,3%
Parking garaža	50	24,6%	138	46,4%
Ukupno	110	54,2%	230	77,5%
Namenska parking mesta				
Ukupno	93	45,8%	66	22,4%

Statističkom analizom utvrđeno je da bi više od polovine korisnika koji realizuju radna kretanja (54,6%) odustalo od parkiranja u CZ prilikom hipotetičkog uvođenja naplate zagušenja, što pri korišćenju CZ u ostale svrhe nije slučaj (37,7%). Prikupljeni podaci korišćeni su za uklapanje u binarni logit model (BLM), kod kojeg se zavisna promenljiva odnosi na osetljivost korisnika na nametanje dodatne naknade za ulazak putničkim automobilima u CZ po ceni od 150 din/dan, što je klasifikuje kao dihotomnu. Nezavisne promenljive u modelu, uključujući motiv putovanja i status parkirališta (uz detaljniju podelu javnih mesta po strukturi i načinu plaćanja) klasifikovane su kao kategoričke. Međutim, usled nedovoljnog uzorka, kao i činjenice da njihove pojedinačne kategorije u logističkoj regresiji nisu pokazale statističku značajnost, parking zone su grupisane.

Rezultati Hi-kvadrat testa odnosa verovatnoće pokazali su da je razvijeni BLM model statistički značajno bolje prilagođen podacima u odnosu na nulti model ($\chi^2=85,336$, $df=5$, $p<0,001$, Nagelkerke pseudo- $R^2=28,9\%$), pri čemu finalni model omogućava tačnu klasifikaciju preko 70% slučajeva. Nakon ispitivanja performansi potencijalnih modela u odnosu na dva razmatrana prediktora, definisan je konačni model prikazan u Tabeli 2.

Tabela 2: Rezultati binarnog logit modela prilikom uvođenja naplate zagušenja u CZ

Promenljiva	B	Wald	Sig.	Exp (B)	95% C.I. za EXP (B)
Motiv putovanja					
Kretanja u ostale svrhe (ref.)				1,000	
Radna kretanja	-0,282	3,951	0,047	0,754	0,571 – 0,996
Status parkirališta					
UF – plaćanje po satu (ref.)		38,781	< 0,001	1,000	
UF – PPK za pravna lica	0,784	1,387	0,239	2,190	0,594 – 8,077
Parking garaža	0,956	32,018	< 0,001	2,601	1,868 – 3,623
Namensko parking mesto	0,515	8,723	0,003	1,674	1,189 – 2,355
Nagelkerke R^2				0,289	

Prva statistički značajna promenljiva odnosi se na motiv putovanja. Rezultati modela ukazuju da ispitanici koji CZ koriste za radna kretanja imaju manju verovatnoću prihvatanja mere naplate ulaska putničkim automobilima u CZ, u odnosu na korisnike koji kretanja realizuju u ostale svrhe. Naime, negativna vrednost koeficijenta ($B=-0,282$) ukazuje da su šanse za prihvatanje hipotetičkog uvođenja naplate zagušenja kod posetilaca sa motivom rad za 24,6% manje nego kod korisnika ostalih motiva. Ovakav rezultat se može dovesti u vezu sa učestalošću radnih kretanja, zbog čega bi dodatna dnevna naknada za ulazak putničkim automobilima u CZ imala izraženiji kumulativni uticaj

na ukupne troškove putovanja ovih korisnika. Shodno tome, isti iznos naknade ne predstavlja podjednako opterećenje za korisnike koji realizuju svakodnevna radna (70,2%) i povremena kretanja u ostale svrhe (62,6%), što može usloviti i njihove različite reakcije.

Sa druge strane, kao značajniji prediktor prihvatljivosti hipotetičkog uvođenja naplate zagušenja u CZ, izdvojio se status parkirališta koje se koristi. U odnosu na referentnu grupu korisnika koji parkiranje na uličnom frontu plaćaju po satu, značajno veće šanse za prihvatanje ove mere imaju korisnici javnih parking garaža ($p<0,001$) i korisnici namenskih parkirališta ($p=0,003$). Tačnije, korisnici parking garaža imaju približno 2,6 puta, a korisnici namenskih parking mesta 1,7 puta veće šanse za prihvatanje uvođenja naplate ulaska u CZ putničkim automobilima, u poređenju sa korisnicima koji se parkiraju na uličnom frontu. Tako dobijene razlike mogu predstavljati posledicu postojećih uslova korišćenja parking mesta i naknade za parkiranje pojedinih kategorija korisnika. Naime, korisnike parking garaža karakteriše veća tolerancija prema višim tarifama parkiranja u odnosu na korisnike uličnog fronta (Tačka 2.1), pa dodatna naknada od 150 dinara može imati relativno manji značaj pri donošenju odluke o korišćenju putničkog automobila kod onih koji su već spremni da prihvate veće troškove parkiranja. Sa druge strane, korisnici namenskih parking mesta najčešće ne snose neposredan trošak parkiranja, a raspolažu i unapred obezbeđenim parking mestom, zbog čega nisu izloženi neizvesnosti u pogledu njegovog pronalaska, karakterističnoj za korisnike uličnog fronta, od kojih čak 96,9% traga za slobodnim mestom, a 56,6% duže od 10 minuta. U skladu sa tim, dodatna naknada za ulazak u CZ može imati manji uticaj na odluku korisnika namenskih mesta o korišćenju automobila. Za korisnike PPK za pravna lica nije utvrđena statistički značajna razlika u odnosu na korisnike koji parkiranje plaćaju po satu ($p=0,239$), što se može pripisati malo zastupljenosti u ukupnom uzorku i indirektnom načinu snošenja troškova parkiranja.

Radi detaljnijeg ispitivanja utvrđenih odnosa, formirani su zasebni modeli za radna i kretanja u ostale svrhe, kojima je analiziran uticaj statusa parkirališta na prihvatljivost naplate ulaska automobilima u CZ. S tim u vezi, rezultati Hi-kvadrat testa odnosa verovatnoće pokazali su da su formirani BLM modeli statistički značajno bolje prilagođeni podacima u odnosu na nulte modele, kako za radna ($\chi^2=91,268$, $df=4$, $p<0,010$, Nagelkerke pseudo- $R^2=31,6\%$), tako i za kretanja u ostale svrhe ($\chi^2=96,522$, $df=3$, $p<0,001$, Nagelkerke pseudo- $R^2=34,4\%$). Finalni modeli tačno predviđaju preko 70% slučajeva (75,9% i 80,6% redom) i njihovi rezultati prikazani su u Tabeli 3.

Tabela 3: Rezultati binarnih logit modela razvijenih prema motivu putovanja

Motiv putovanja		Radna kretanja			Kretanja u ostale svrhe			
Promenljiva	B	Wald	Sig.	Exp (B)	B	Wald	Sig.	Exp (B)
Status parkirališta		25,211	<0,001			12,725	0,013	
UF – plaćanje po satu (ref.)								
UF – PPK za pravna lica	0,760	1,257	0,262	2,137				
Parking garaža	0,342	7,924	0,005	1,408	1,257	19,592	<0,001	3,516
Namensko parking mesto	0,553	4,717	0,030	1,738	1,286	4,923	0,027	3,619
Nagelkerke R^2		0,316			0,344			

Rezultati razvijenih BLM modela ukazuju da status parkirališta predstavlja statistički značajan prediktor prihvatljivosti naplate zagušenja kod obe grupe korisnika definisane prema motivu putovanja ($p<0,001$ i $p=0,013$, redom). Kod radnih kretanja, korisnici parking garaža imaju 1,4 puta, a korisnici namenskih parking mesta 1,7 puta veće šanse za

prihvatanje mere u odnosu na korisnike istog motiva koji parkiranje na uličnom frontu plaćaju po satu. Ovakav nalaz je posebno značajan za korisnike sa radnim motivom koji se parkiraju na namenskim mestima, imajući u vidu da Burchell i dr. [4] ukazuju da parking kapaciteti izvan neposredne kontrole lokalnih vlasti mogu ograničiti efekte primenjene politike. Kod kretanja u ostale svrhe, korisnici parking garaža i namenskih parking mesta takođe imaju veće šanse za prihvatanje mere naplate zagušenja u odnosu na korisnike uličnog fronta istog motiva (3,5 i 3,6 puta, redom). Tako dobijeni rezultati ukazuju da reakcije korisnika nisu homogene ni unutar istog motiva, već se razlikuju u zavisnosti od strukture parking mesta koju koriste. Na taj način, zasebno razvijeni modeli potvrđuju značaj statusa parkirališta unutar oba motiva putovanja, a ne samo na nivou njihovog međusobnog poređenja. Kod korisnika PPK za pravna lica, zastupljenih samo kod radnih kretanja, nije utvrđena statistički značajna razlika u odnosu na referentnu kategoriju.

Sa druge strane, među korisnicima koji bi odustali od upotrebe putničkog automobila pri ulasku u CZ, 36% bi promenilo vid prevoza, od čega bi 73,6% kretanja realizovalo javnim prevozom, 16,7% električnim trotinetom i 9,7% biciklom. Zatim, 22% korisnika bi parkiralo na obodu zone, 19,5% odustalo od putovanja, 13% bi promenilo krajnju destinaciju, dok bi 9,5% korisnika promenilo vremenski period ulaska u CZ kada se ne vrši naplata.

4 ZAKLJUČAK

Primenom binarnih logit modela utvrđeno je da naplata zagušenja može predstavljati koristan alat upravljanja zahtevima za parkiranje, pri čemu se motiv putovanja i status parkirališta izdvajaju kao statistički značajni prediktori reakcije korisnika. Naime, posmatrajući zbirni model, posetioci CZ sa motivom rad pokazali su veću osetljivost na dodatnu naknadu, što je posebno značajno imajući u vidu da su radna kretanja povezana ne samo sa dugotrajnim parkiranjem, već i sa izraženim intenzitetom saobraćajnih zahteva u jutarnjem i popodnevnom vršnom satu. U skladu sa tim, njihovo destimulisanje predstavlja jedan od ključnih ciljeva upravljanja parkiranjem i saobraćajnim zagušenjima u centralnim i visokoatraktivnim zonama gradova. Sa druge strane, modeli razvijeni pojedinačno prema motivu putovanja dodatno su pokazali značaj statusa parkirališta za reakciju korisnika na uvođenje naplate zagušenja. Odnosno, korisnici koji parkiranje na uličnom frontu plaćaju po satu pokazali su veću osetljivost na dodatnu naknadu u odnosu na korisnike javnih garaža i namenskih parking mesta. Ovakav rezultat je posebno značajan sa aspekta upravljanja parkiranjem, budući da ukazuje na potencijal naplate zagušenja da doprinese smanjenju zahteva za parkiranje na uličnom frontu uz istovremeno manje izražen efekat na korišćenje javnih garaža. Nasuprot tome, manja osetljivost korisnika namenskih parking mesta ukazuje da ova mera manje utiče na korisnike koji nisu neposredno obuhvaćeni sistemom naplate parkiranja na javnim parking mestima, što dodatno naglašava potrebu za usklađivanjem naplate zagušenja sa drugim merama politike parkiranja. Pored utvrđenih razlika u osetljivosti, rezultati istraživanja ukazuju i na različite promene transportnog ponašanja korisnika. Među korisnicima koji bi odustali od upotrebe automobila pri ulasku u CZ, najviše je onih koji se opredeljuju za promenu vida prevoza, zatim promenu mesta parkiranja (obod zone), odustajanje od putovanja, promenu krajnje destinacije putovanja i na kraju promenu vremena dolaska u CZ. Međutim, činjenica da bi nezanemarljiv deo korisnika u potpunosti odustao od

putovanja u CZ ukazuje i na potencijalno negativne efekte mere na dostupnost i posećenost sadržaja u zoni. Zbog toga bi uvođenje naplate zagušenja trebalo uskladiti sa unapređenjem alternativnih mogućnosti pristupa CZ, uključujući i sistem „Parkiraj i vozi se“, posebno imajući u vidu i udeo korisnika koji bi se opredelili za parkiranje na obodu zone. Sve navedeno ukazuje da pri uvođenju naplate zagušenja nije dovoljno razmatrati samo njen potencijalni doprinos smanjenju korišćenja automobila i zahteva za parkiranje, već i način na koji će različite kategorije korisnika prilagoditi svoje ponašanje. U tom smislu, naplatu ulaska u CZ potrebno je uskladiti sa politikom parkiranja i razvojem alternativnih načina pristupa CZ, kako bi se željeni efekti upravljanja ostvarili bez narušavanja dostupnosti sadržaja CZ i prelivanja problema. Buduća istraživanja trebalo bi usmeriti na ispitivanje različitih visina i modela naplate zagušenja, njihovih efekata na tranzitne tokove i nivo usluge na mreži, kao i potencijalnih sinergijskih efekata usklađivanja sa postojećim merama politike parkiranja.

LITERATURA

- [1] Glavić, D., Simićević, J., & Milenkovic, M. (2020). Parking versus Congestion Pricing: Comparative Analysis. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 66(3), 11-16.
- [2] Burchell, J., Ison, S., & Enoch, M. (2015). The Smeed Report 50 years on: a role for the workplace parking levy?. *Transportation Planning and Technology*, 38(1), 62-77.

SUMMARY

Central Zone Entry Charging as a Parking Management Measure

Abstract: Faced with the challenges of rapid urban development, many congestion-prone cities are increasingly turning to sustainable mobility management measures in response to growing travel demand and limited transport infrastructure and parking capacity. By discouraging the use of passenger cars, congestion pricing has become an increasingly common policy choice for decision-makers seeking to establish more sustainable transport systems, while encouraging users to shift toward more environmentally friendly modes of transport. This restrictive ("push") measure is based on the principle that users who contribute to congestion and, consequently, to parking-related problems in central urban areas should also bear part of the social costs they generate through charges for accessing and using the most congested urban zones. Given that different categories of users do not contribute equally to traffic and parking problems, the effects of congestion pricing may largely depend on their travel behaviour and parking characteristics. Accordingly, the aim of this paper is to provide a comparative analysis of the effects of a hypothetical congestion pricing scheme on the parking demand of different user groups, classified according to the type of parking facility used and trip purpose. Drawing on the results of a questionnaire survey, the study examines the extent to which imposing additional costs on passenger car users entering the central zone of

Belgrade may influence travel behaviour, including the decision to use a passenger car and the choice of alternative transport modes. Particular attention is given to potential differences in responses between users undertaking occasional activities within the zone, who generally have greater flexibility in their travel decisions, and users whose travel is predominantly characterised by regular work-related trips. The findings are expected to contribute to a better understanding of the effects of congestion pricing and its potential as a policy instrument for reducing car dependence, discouraging long-term parking, improving the efficiency of parking capacity use, and supporting the objectives of sustainable urban development.

Key words: mobility management, congestion pricing, parking space users, travel behaviour, sustainable urban mobility

Uticaj odabranih „push” i „pull” mera na zahteve za parkiranje u užem centru Beograda

Mina Mešić, Saobraćajni fakultet, Beograd, minamesic2701@gmail.com

Jelena Simićević, Saobraćajni fakultet, Beograd, j.simicevic@sf.bg.ac.rs

Marina Milenković, Saobraćajni fakultet, Beograd, marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: U urbanim sredinama, a posebno u centralnim i visokoatraktivnim zonama gradova, intenzivna upotreba putničkih automobila dovodi do brojnih negativnih efekata poput saobraćajnih zagušenja, problema parkiranja, povećanja vremena putovanja, emisije štetnih gasova i narušavanja kvaliteta života. Gradovi širom sveta sve češće primenjuju integrisane mere upravljanja transportnim zahtevima, koje istovremeno ograničavaju upotrebu automobila i podstiču korišćenje održivijih vidova prevoza. U okviru upravljanja transportnim zahtevima, poseban značaj imaju mere koje korisnicima pružaju adekvatnu alternativu putničkom automobilu, kao što su sistemi Parkiraj i vozi se, koji spadaju u tzv. „pull” mere. Parkiraj i vozi se omogućava korisnicima da deo putovanja obave putničkim automobilom, a zatim nastave putovanje javnim prevozom ka centralnoj zoni, čime se smanjuje pritisak na saobraćajnu mrežu i parkirišta u centru grada. Međutim, dosadašnja praksa pokazuje da primena isključivo „pull” mera najčešće ne dovodi do značajnih promena u ponašanju korisnika. Zbog toga se u savremenom konceptu upravljanja ove mere kombinuju sa restriktivnim, odnosno „push” merama, koje imaju za cilj ograničavanje ili destimulaciju upotrebe putničkog automobila. Sinergijskim delovanjem ovih mera moguće je postići značajnije efekte u pogledu smanjenja svih prethodno navedenih posledica i unapređenja održive urbane mobilnosti. Cilj ovog rada je da na primeru centralne zone Beograda ispita uticaj navedenih „push” i „pull” mera na zahteve za parkiranje, i to kako pojedinačan uticaj tako i sinergijski.

Ključne reči: upravljanje transportnim zahtevima, push i pull mere, parkiranje, Parkiraj i vozi se, anketno istraživanje

1 UVOD

Intenzivna upotreba putničkih automobila u centralnim gradskim zonama predstavlja jedan od ključnih izazova savremenog urbanog saobraćajnog planiranja, koji se ogleda u zagušenjima, problemima parkiranja, dužim putovanjima i narušenom kvalitetu vazduha i života. Odgovor na ove izazove sve češće predstavljaju integrisane mere upravljanja transportnim zahtevima (Transport Demand Management – TDM), kojima se istovremeno smanjuje privlačnost dolaska automobilom i podstiče prelazak na održivije vidove prevoza [1].

Cilj rada je da se, na primeru uže centralne zone Beograda, ispita pojedinačan i sinergijski uticaj dve odabrane mere na zahteve za parkiranje, i to naplate ulaska u zonu kao „push” mere i sistema Parkiraj i vozi se (Park and Ride, P+R) kao „pull” mere. Izbor ove dve mere proizlazi iz njihove komplementarnosti – naplata ulaska neposredno utiče na odluku o dolasku automobilom, dok P+R sistem nudi konkretnu alternativu, čime se

obuhvataju i korisnici osetljivi na cenu i oni bez odgovarajuće alternative. Analiza se zasniva na anketi sprovedenoj među korisnicima koji automobilom dolaze u užu centar Beograda. Rad je strukturiran tako da nakon uvoda sledi teorijski okvir, potom opis metodologije istraživanja, prikaz i diskusija rezultata, i zaključna razmatranja.

2 TEORIJSKI OKVIR

Upravljanje transportnim zahtevima obuhvata mere kojima se utiče na karakteristike putovanja, uključujući način, vreme i odredište putovanja. Smanjenje prekomerne upotrebe automobila prvenstveno se ostvaruje merama koje utiču na izbor vida prevoza i učestalost korišćenja putničkog automobila. Mere se dele na restriktivne „push” mere, koje ograničavaju ili poskupljuju upotrebu automobila (npr. naplata ulaska u zonu, ograničenje parkiranja), i podsticajne „pull” mere, koje korisnicima pružaju kvalitetnu alternativu automobilu (npr. unapređenje javnog prevoza, sistemi Parkiraj i vozi se) [1], [2]. Dosadašnja istraživanja pokazuju da primena isključivo „pull” mera najčešće ne dovodi do značajnih promena u ponašanju, jer korisnici takve mere lako prihvataju, ali retko dobrovoljno menjaju navike bez dodatnog podsticaja. Zbog toga se ove mere kombinuju sa restriktivnim „push” merama, čijim se sinergijskim delovanjem mogu postići značajnije efekte u smanjenju zagušenja i unapređenju održive mobilnosti [1], [2], [3].

Sistem Parkiraj i vozi se predstavlja kombinovano putovanje u kojem korisnik prvi deo puta prelazi automobilom, koji ostavlja van centralne zone i nastavlja javnim prevozom. Kada funkcioniše kako je zamišljeno, ovakav sistem smanjuje broj automobila koji ulaze u centralnu zonu, a time i zagušenje, zagađenje vazduha i zahteve za parkiranjem u samom centru. Efekti, međutim, nisu uvek jednoznačno pozitivni. Popunjenost parkirališta nije dovoljan pokazatelj uspešnosti, jer sistem može privući i korisnike koji su ranije putovali javnim prevozom, pešačili ili vozili bicikl, umesto da ih preusmeri sa direktnog putovanja automobilom. Meta-analiza 40 istraživanja i 180 P+R lokacija pokazuje da ostvareni efekti zavise od lokalnih uslova [4]. Da bi se očekivani efekti ostvarili, tarifni sistem treba da obezbedi da ukupni troškovi i vreme putovanja korišćenjem P+R sistema (uključujući traženje parking mesta) budu manji od troškova i vremena direktnog dolaska automobilom, a pri oceni pogodnosti lokacije parkirališta razmatraju se i pristupačnost za vozila i pešake, kvalitet usluge javnog prevoza, kapacitet i vidljivost lokacije [9]. Kvalitet i pouzdanost usluge, kao i bezbednost, pritom mogu imati veći uticaj na prihvatanje P+R sistema od same cene [5].

Naplata ulaska u centralnu zonu, razmatrana ovde kao push mera, predstavlja poseban oblik naplate zagušenja (congestion charging) – kordonsku naplatu pri ulasku ili jedinstvenu dnevnu naknadu [1]. Reakcije korisnika nisu jednoobrazne. Deo prihvata trošak i nastavlja automobilom, dok drugi menjaju rutu, vreme, odredište ili vid prevoza, pri čemu se razlikuju radna putovanja (svakodnevni dolazak na posao, sa fiksnim rasporedom) i poslovna putovanja (obaveze tokom radnog vremena, npr. sastanci ili posete van matičnog radnog mesta) – poslovna putovanja pokazuju veću spremnost na plaćanje, dok radna, zbog manje fleksibilnosti, češće dovode do promene ponašanja [8].

Navedeni nalazi uglavnom potiču iz modelskih i anketnih istraživanja. U praksi je naplata ulaska takođe potvrdila očekivane efekte. U Londonu (2003) dovela je do trajnog smanjenja zagušenja uz uspostavljenju kontrolu [6], dok je u Stokholmu (2006), nakon

probnog perioda i referenduma, smanjenje saobraćaja ostalo trajno, a podrška meri porasla kad su korisnici uočili njene efekte [7].

Samostalna primena jedne grupe mera ipak ima ograničenja. P+R sistem ne mora biti dovoljan ako je direktan dolazak automobilom za korisnika i dalje povoljniji u pogledu vremena, troškova ili komfora, dok naplata ulaska može izazvati nezadovoljstvo korisnika ukoliko im prethodno nije obezbeđena odgovarajuća alternativa – preduslov za uvođenje naplate zagušenja je, stoga, postojanje adekvatnih alternativnih vidova prevoza i ruta.

Restriktivne mere po pravilu nailaze na veći otpor nego podsticajne [2]. Istraživanje u Frankfurtu pokazuje da paket koji kombinuje restriktivne i podsticajne elemente ima znatno veću podršku od samog povećanja cene parkiranja [3], a novija istraživanja pokazuju da pojedinačne mere uglavnom izazivaju manje promene ponašanja nego kombinovani paketi [1]. Malo istraživanja upoređuje pojedinačan i sinergijski efekat ovih mera u gradovima centralne i jugoistočne Evrope, pa ovaj rad doprinosi popunjavanju tog jaza analizom slučaja Beograda.

3 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Podaci korišćeni u radu prikupljeni su putem onlajn ankete, uz dodatnu direktnu anketu korisnika koji se parkiraju na uličnim mestima (UF), sprovedenih prigodnim uzorkovanjem među korisnicima koji putničkim automobilom dolaze u ljubičastu zonu parkiranja u užem centru Beograda – najrestriktivniju i prostorno najužu zonu naplate parkiranja u gradu. Zona obuhvata javne garaže (G) Obilićev venac (805 mesta) i Pionirski park (471 mesto), vanulično parkiralište (P) Donji grad, poznato i kao Beton hala (354 mesta), prema podacima JKP „Parking servis”, kao i ulična parking mesta (UF). UF u zoni naplaćuju se 120 RSD za 30 minuta, uz maksimalno dozvoljeno trajanje od 30 minuta bez mogućnosti produženja, dok se P i G naplaćuju po započetom satu (npr. Obilićev venac 150 RSD/sat, Pionirski park 100 RSD za prvi i 150 RSD za svaki naredni sat, Donji grad/Beton hala 100 RSD/sat), bez vremenskog ograničenja. Pored satne tarife, na sve tri strukture postoje i povlašćene, odnosno pretplatne karte za redovne korisnike – stanovnici zone, na primer, mogu koristiti mesečnu kartu od 500 RSD za neograničeno parkiranje na uličnim mestima. Anketa je obuhvatila i javna i namenska (privatna) parking mesta kao moguće odgovore.

S obzirom na to da stanovnici same zone ne bi plaćali naplatu ulaska niti bi bili potencijalni korisnici P+R sistema, budući da već svakodnevno borave u zoni i, kao prioritarna kategorija, imaju povlašćen status i u pogledu parkiranja, pitanje o mestu stanovanja korišćeno je kao eliminaciono.

Upitnik od 21 pitanja kombinovao je pristupe izraženih preferencija (revealed preference - RP) i izjavljenih preferencija (stated preference - SP), obuhvatajući socio-demografska obeležja ispitanika, RP pitanja o sadašnjim navikama putovanja i parkiranja u zoni, i SP pitanja o stavovima prema tri hipotetička scenarija upravljanja transportnim zahtevima. U prvom scenariju ispitanicima je predstavljena mogućnost uvođenja dnevne naknade za pristup zoni od 200 RSD, pri čemu je iznos naknade odabran na osnovu prethodnih istraživanja o hipotetičkim scenarijima naplate zagušenja [1]. U drugom scenariju predstavljena je mogućnost korišćenja sistema Parkiraj i vozi se, pod uslovima uobičajenim za ovakve sisteme – putovanje javnim prevozom u trajanju do 15–20 minuta,

na udaljenosti do 5 km od zone [9] – uz opis da bi ispitanik ostavio automobil na parkiralištu van centralne zone i nastavio putovanje javnim prevozom. Treći scenario kombinuje obe mere – naknadu za ulazak i dostupnost P+R sistema. Za svaki scenario ispitanici su birali kako bi promenili način dolaska u odnosu na sadašnje navike.

Za tumačenje rezultata važan je i trenutni kontekst u Beogradu. Javni prevoz je od 1. januara 2025. besplatan za sve korisnike, dok je formalni P+R sistem od istog datuma ukinut. Oba scenarija sa P+R stoga predstavljaju njegovo hipotetičko, odnosno ponovno uvođenje, dok je javni prevoz već besplatan.

Važno je napomenuti da se rezultati odnose isključivo na putovanja sa izvorom ili ciljem u posmatranoj zoni, odnosno ona koja generišu zahtev za parkiranjem u njoj. Ograničenja poređenja push i pull mere koja iz toga proizlaze razmatraju se u analizi kombinovanog scenarija (4.4).

4 REZULTATI I DISKUSIJA

4.1 Analiza uzorka

Anketu je popunilo 283 ispitanika. Ciljnu grupu istraživanja čine posetioци koji u zonu povremeno ili često dolaze automobilom i u njoj se parkiraju na javnom parking mestu. Od 264 ispitanika koji su odgovorili na pitanje o mestu stanovanja, 198 nije stanovnik posmatrane zone. Od njih je 168 u prethodnih 12 meseci najmanje jednom automobilom dolazilo u zonu. Među njima, dvoje ispitanika izjavilo je da parkira na namenskim (privatnim) mestima. S obzirom na to da je namenska mesta koristio veoma mali broj ispitanika, a uslovi parkiranja na njima se razlikuju od javnog režima naplate, ovi ispitanici su isključeni, čime je ciljnu grupu činilo 166 ispitanika. Nakon sprovedene logičke kontrole odgovora, isključeno je još 29 ispitanika, tako da konačan analitički uzorak čini 137 ispitanika, koji su odgovorili na sva pitanja o karakteristikama parkiranja i hipotetičkim scenarijima.

U analitičkom uzorku od 137 ispitanika 50,4% čine žene, a najzastupljenija starosna grupa je 18–25 godina (25,5%). Zaposleni čine 71,5% uzorka, a učenici/studenti 20,4%. Pregled demografske strukture dat je u tabeli 1.

Najčešći motiv dolaska u zonu su zabava (30,7%) i privatni posao i poseta (26,3%), dok su poslovni dolasci (posao i poslovna poseta) zastupljeni sa 18,9%. Najveći broj ispitanika parkira u javnim garažama (62,8%), a preostali na uličnim mestima (37,2%). Gotovo svi (99,3%) plaćaju parkiranje po satu. Vreme traženja mesta iznosi 6–15 minuta za 68,6% ispitanika, pri čemu je prosečno vreme traženja duže kod korisnika uličnog parkiranja (oko 13,1 minuta) nego kod korisnika garaža (oko 8,7 minuta), što je u skladu sa razlikama u popunjenosti uličnih i vanuličnih mesta uočenim i u ranijim istraživanjima [10]. Zadržavanje se najčešće kreće od jednog do četiri sata (92,0%). Značajno je da 67,8% ispitanika bar ponekad odustaje od dolaska automobilom zbog očekivanih problema sa parkiranjem.

Tabela 1: Demografska struktura analitičkog uzorka (n=137)

Karakteristika	Kategorija	Broj	Udeo (%)
Pol	Muški	68	49,6
	Ženski	69	50,4
Starost	18–25 god.	35	25,5
	26–35 god.	21	15,3
	36–45 god.	21	15,3
	46–55 god.	28	20,4
	56–65 god.	26	19,0
	65+ god.	6	4,4
Status	Zaposlen	98	71,5
	Učenik/student	28	20,4
	Nezaposlen	3	2,2
	Penzioner	8	5,8

4.2 Uticaj push mere – naplata ulaska u zonu

U scenariju dnevne naknade za pristup zoni od 200 RSD, 54,0% ispitanika izjavilo je da bi nastavilo da dolazi automobilom i plaćalo, dok bi 39,4% prešlo na javni prevoz, a 6,6% izabralo druge vidove (carpool, mikromobilnost, taksi) ili odustalo. Gotovo polovina posetilaca ljubičaste zone (46,0%) bi, drugim rečima, promenila način dolaska usled naplate ulaska od 200 RSD, što pokazuje da se ovom merom može upravljati transportnim zahtevima i zahtevima za parkiranje, u skladu sa nalazima o efikasnosti push mera [1], [6]. Deo ove spremnosti treba tumačiti i u svetlu toga da je javni prevoz u Beogradu već besplatan.

4.3 Uticaj pull mere – sistem Parkiraj i vozi se

Kada bi sistem P+R bio dostupan, 61,3% ispitanika izjavilo je da bi ga koristilo, a 38,7% bi zadržalo sadašnji način dolaska. P+R sistem, i pored toga, pokazuje veliku spremnost korisnika da izaberu ponuđenu alternativu, što bi u praksi predstavljalo značajan pomak, budući da cilj upravljanja transportnim zahtevima nije da se svi korisnici automobila potpuno odbiju od dolaska, već da im se ponudi prihvatljiva alternativa.

4.4 Sinergijski efekat kombinovane primene mera

U scenariju istovremenog uvođenja obe mere, udeo onih koji bi koristili P+R raste na 72,3%, dok se udeo onih koji ne bi menjali navike dodatno smanjuje sa 38,7% (samo pull mera) na 21,2%. Udeo korisnika javnog prevoza raste sa 0% na 3,6%. Tabela 2 upoređuje sva tri scenarija jedan pored drugog.

Tabela 2: Usporedni prikaz izbora načina dolaska u tri odvojeno postavljena scenarija

Izbor načina dolaska	Samo naplata ulaska (%)	Samo P+R sistem (%)	Naplata + P+R (%)
<i>Nastavlja automobilom bez promene / plaćajući naknadu</i>	54,0	38,7	21,2
<i>Koristi sistem Parkiraj i vozi se (P+R)</i>	nije ponuđeno	61,3	72,3
<i>Koristi javni prevoz</i>	39,4	0,0	3,6
<i>Ostali vidovi (carpool, mikromobilnost, taksi, peške, odustajanje)</i>	6,6	0,0	2,9

Rezultati ukazuju na potencijalni dodatni efekat kombinovane primene mera. Uvođenjem P+R sistema u kombinaciji sa naplatom, u odnosu na samu naplatu, značajno se smanjuje udeo korisnika koji bi inače koristili isključivo javni prevoz ili druge održive vidove (sa 39,4% na 3,6%), u korist P+R opcije. Deo „uspeha” P+R sistema stoga dolazi i na račun korisnika koji bi se, u njegovom odsustvu, ionako opredelili za javni prevoz, a ne isključivo na račun korisnika automobila – nijansa koja se dalje razmatra u zaključku.

Ovo poređenje push i pull mere dodatno treba tumačiti uz važnu ogradu. Obe mere se odnose isključivo na putovanja sa izvorom ili ciljem u zoni. Naplata ulaska bi obuhvatila i tranzitna putovanja kroz zonu, koja ovde nisu ispitivana, dok bi P+R mogao privući i korisnike koji sada putuju javnim prevozom celim putem, čime bi se broj vozila koja ulaze u zonu radi P+R parkirališta zapravo povećao. Direktno poređenje efikasnosti dve mere je stoga nepotpuno.

Podela uzorka prema strukturi parkiranja pokazuje da agregatni rezultati prikriju stvarne razlike. Korisnici uličnih mesta (n=51) češće biraju javni prevoz u push scenariju (45,1% naspram 36,0%) i P+R u pull scenariju (66,7% naspram 58,1%) nego korisnici garaža (n=86). Korisnici garaža, s obzirom na dužinu zadržavanja, u proseku već plaćaju više za parkiranje nego korisnici uličnih mesta, pa su i manje osetljivi na uvođenje nove naknade [10]. Ovo potvrđuje da bi detaljnija segmentacija verovatno pokazala različite efekte mera.

5 ZAKLJUČAK

Rezultati pokazuju da je, suprotno očekivanjima iz literature, pull mera (P+R sistem) izazvala veću promenu ponašanja od push mere, sa 61,3% (tačka 4.3) naspram 54,0% ispitanika (tačka 4.2). Deo objašnjenja verovatno leži u tome što je javni prevoz već besplatan, čime je naplata ostala jedina cenovna promena, dok P+R nudi opipljivu uslugu. Objašnjenje može ležati i u zavisnosti korisnika od automobila – lakše pristaju na promenu ponašanja ako im se omogući da deo puta i dalje pređu sopstvenim vozilom, nego da ga potpuno napuste. Dodatno, 67,8% ispitanika bar ponekad odustaje od dolaska automobilom zbog problema sa pronalaženjem mesta (tačka 4.1), pa ponuda kapaciteta na kome uvek ima mesta, dovoljno blizu centra, deluje privlačno upravo zbog ovog iskustva. Elastičnost potražnje u odnosu na visinu naknade nije ispitivana, pa je moguće da bi pri višoj ceni udeo onih koji bi ostali u automobilskom saobraćaju bio manji.

Kao što je pokazano u analizi kombinovanog scenarija, deo „uspeha” P+R sistema dolazi na račun korisnika koji bi se i bez njega opredelili za javni prevoz. Da li P+R u ovakvim paketima mera neto doprinosi ili umanjuje efekat push mere, ostaje otvoreno pitanje za dalja istraživanja. U centralnoj zoni bi efekat sigurno bio pozitivan, dok pitanje efekta na periferiji, gde bi se P+R parkiralište nalazilo, zahteva posebnu pažnju. Postojanje P+R sistema, u svakom slučaju, opravdava se time da su saobraćajna i parking zagušenja najizraženija baš u centralnim zonama.

Istraživanje ima i značajna ograničenja. Uzorak od 137 ispitanika je relativno mali i prigodno formiran, pa bi za pouzdanije vrednovanje trebalo raditi na znatno većem uzorku. Segmentacija po strukturi parkiranja otkriva razlike koje agregatni rezultati prikrivaju, dok segmentacija po kategoriji korisnika nije bila statistički opravdana zbog veličine uzorka. Rezultati stoga ostaju delimično neodređeni, jer se troškovi parkiranja razlikuju između struktura (npr. 120 RSD/30 min na ulici naspram 100–150 RSD/sat u garaži).

Uprkos navedenim ograničenjima, rezultati ukazuju da bi integrisana politika upravljanja parkiranjem u centru Beograda, koja bi kombinovala naknadu za ulazak sa razvojem bezbednog i kvalitetnog P+R sistema, mogla doprineti smanjenju automobilskeg saobraćaja u zoni, uz napomenu da bi konačan neto efekat i odgovarajuću visinu naknade trebalo dodatno proveriti na većem i segmentiranom uzorku.

LITERATURA

- [1] Li, Z., Hensher, D. A. (2012). Congestion charging and car use: A review of stated preference and opinion studies and market monitoring evidence. *Transport Policy*, 20, 47–61.
- [2] Mehdizadeh, M., Solbu, G., Klöckner, C. A., Moe Skjølsvold, T. (2024). Navigating acceptance and controversy of transport policies. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 187, 104176.
- [3] Lanzendorf, M., Baumgartner, A., Klinner, N. (2023). Do citizens support the transformation of urban transport? Evidence for the acceptability of parking management, car lane conversion and road closures from a German case study. *Transportation*. <https://doi.org/10.1007/s11116-023-10398-w>
- [4] Zijlstra, T., Vanoutrive, T., Verhetsel, A. (2015). A meta-analysis of the effectiveness of park-and-ride facilities. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 15(4), 597–612.
- [5] Huang, K., Liu, Z., Zhu, T., Kim, I., An, K. (2019). Analysis of the Acceptance of Park-and-Ride by Users: A Cumulative Logistic Regression Approach. *Journal of Transport and Land Use*, 12(1), 637–647.
- [6] Leape, J. (2006). The London Congestion Charge. *Journal of Economic Perspectives*, 20(4), 157–176.
- [7] Börjesson, M., Eliasson, J., Hugosson, M. B., Brundell-Freij, K. (2012). The Stockholm congestion charges—5 years on. Effects, acceptability and lessons learnt. *Transport Policy*, 20, 1–12.
- [8] Azari, K. A., Arintono, S., Hamid, H., Davoodi, S. R. (2013). Evaluation of demand for different trip purposes under various congestion pricing scenarios. *Journal of Transport Geography*, 29, 43–51.
- [9] Milosavljević, N., Simićević, J. (2023). Parkiranje. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet.

- [10] Komarica, J., Simićević, J., Milenković, M., Glavić, D. (2024). Uticaj cene parkiranja na korisnike različitih socio-ekonomskih karakteristika. Zbornik radova XIV konferencije o tehnikama saobraćajnog inženjerstva (TESi 2024), Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet.

SUMMARY

The Impact of Selected “Push” and “Pull” Measures on Parking Demand in the Narrower Central Zone of Belgrade

Abstract: In urban areas, particularly in central and highly attractive city zones, intensive use of passenger cars leads to numerous negative effects such as traffic congestion, parking problems, increased travel time, harmful gas emissions and a deterioration in quality of life. Cities around the world are increasingly applying integrated transport demand management measures that simultaneously restrict car use and encourage the use of more sustainable modes of transport. Within transport demand management, particular importance is given to measures that provide users with an adequate alternative to the passenger car, such as Park and Ride systems, which belong to the so-called “pull” measures. Park and Ride enables users to make part of their journey by passenger car and then continue by public transport towards the central zone, thereby reducing pressure on the transport network and parking facilities in the city centre. However, previous practice shows that the application of “pull” measures alone most often does not lead to significant changes in user behaviour. Therefore, in the contemporary management concept, these measures are combined with restrictive, or “push”, measures aimed at limiting or discouraging passenger car use. Through the synergistic action of these measures, it is possible to achieve more significant effects in reducing all the previously mentioned consequences and improving sustainable urban mobility. The aim of this paper is to examine, using the central zone of Belgrade as a case study, the impact of the aforementioned “push” and “pull” measures on parking demand, both individually and synergistically.

Key words: transport demand management, push and pull measures, parking, park and ride, survey research

Analiza zadovoljstva korisnika u funkciji karakteristika uličnog parkiranja u zoniranom području grada Šapca

*Teodora Bajević, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu,
teodorabajevic@gmail.com*

*Milica Tubić, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu,
milica.tubic66@gmail.com*

*Vuk Bogdanović, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu,
vuk@uns.ac.rs*

Rezime: Parkiranje predstavlja jedan od ključnih elemenata funkcionisanja urbanog saobraćajnog sistema, naročito u centralnim gradskim zonama, gde su raspoloživi parking kapaciteti često ograničeni u odnosu na potražnju. Zbog sve većeg stepena motorizacije potrebe korisnika konstantno rastu, a mogućnosti njihovog zadovoljenja ostaju ograničene prostornim i organizacionim faktorima, pa problem parkiranja postaje jedan od značajnijih izazova urbanih sredina. Sistem zonskog parkiranja predstavlja jednu od najčešće primenjivanih mera upravljanja parking potražnjom, sa ciljem povećanja dostupnosti parking mesta i efikasnijeg korišćenja raspoloživih kapaciteta. Predmet istraživanja u radu je analiza zadovoljstva korisnika uslugom parkiranja u zoniranom području grada Šapca, sa posebnim osvrtom na lokacije kod kojih je izražena neusklađenost između parking ponude i potražnje. Cilj rada je da se na osnovu rezultata sprovedenog anketnog istraživanja sagledaju stavovi, potrebe i stepen zadovoljstva korisnika sistemom parkiranja, kao i da se identifikuju ključni problemi sa kojima se korisnici suočavaju u zoniranom području grada Šapca. Dobijeni rezultati predstavljaju osnovu za definisanje preporuka usmerenih ka unapređenju kvaliteta usluge i efikasnijem upravljanju sistemom parkiranja u centralnoj gradskoj zoni.

Ključne reči: parkiranje, upravljanje parkiranjem, zadovoljstvo korisnika, Grad Šabac

1 UVOD

Odnos između raspoložive parking ponude i načina njenog upravljanja ima značajan uticaj na obrasce kretanja u urbanim područjima. Dostupnost parking mesta, cena, vremenska ograničenja i udaljenost od odredišta predstavljaju faktore koji mogu uticati na odluku o korišćenju automobila, izbor parking lokacije i trajanje zadržavanja vozila. Način upravljanja parkiranjem neposredno utiče i na pristupačnost gradskih sadržaja, izbor vida prevoza i atraktivnost centralnih gradskih zona. [3] Razvoj evropske politike parkiranja pokazuje postepeni prelazak sa jednostavnog obezbeđivanja dodatnih kapaciteta na aktivno upravljanje potražnjom pomoću cena, vremenskih ograničenja i kontrole korišćenja parking mesta. U slučajevima kada ulično parkiranje ima nisku cenu, a raspoloživost mesta je mala, vozači su skloniji kruženju i traženju slobodnog mesta, čime se povećavaju vreme putovanja, saobraćajno opterećenje i negativni uticaji na životnu sredinu. [6] Povezanost visokog stepena zauzetosti parking mesta i povećanog obima saobraćaja koji nastaje tokom traženja slobodnog mesta potvrđena je i analizama parking

sistema u centralnim gradskim područjima. [2] Istraživanja takođe pokazuju da cena parkiranja utiče na odluku o korišćenju automobila, dok vremensko ograničenje značajno utiče na izbor vrste parkinga i trajanje zadržavanja vozila. [5] Zadovoljstvo korisnika predstavlja višedimenzionalnu kategoriju koja ne zavisi isključivo od mogućnosti pronalaženja slobodnog mesta, već i od jasnoće uspostavljenog režima, pogodnosti načina plaćanja i pouzdanosti dostupnih informacija. [1] Zbog toga se uspešnost sistema parkiranja ne može ocenjivati samo na osnovu pokazatelja njegovog funkcionisanja, već je potrebno uzeti u obzir i iskustva, potrebe i stavove korisnika.

2 KARAKTERISTIKE ZONIRANOG SISTEMA PARKIRANJA U ŠAPCU

Organizacija i upravljanje parkiranjem na teritoriji grada Šapca zasnivaju se na primeni zonskog modela kontrole i naplate, koji je podeljen na dve osnovne celine – crvenu i plavu zonu (Slika 1). Celokupan sistem obuhvata ukupan kapacitet od 2.102 parking mesta, pri čemu analiza strukture definiše učešće pojedinačnih zona, pojedinačnih ulica i mesta sa posebnom namenom u ukupnom bilansu. Dominantan udeo raspoloživih kapaciteta nalazi se u crvenoj zoni, koja broji ukupno 1.749 parking mesta, što čini 83,21% od celokupnog broja mesta u sistemu. U okviru crvene zone, saobraćajnica sa najvećim pojedinačnim brojem parkirališta jeste Ulica Kralja Petra I, koja raspolaže sa 120 parking mesta (odnosno 6,86% kapaciteta crvene zone, što predstavlja 5,71% ukupnog gradskog kapaciteta). Sa druge strane, plava zona obuhvata preostala javna parkirališta i raspolaže sa 353 parking mesta, što čini 16,79% od ukupnog kapaciteta obuhvaćenog kontrolom i naplatom. U okviru ukupnog kapaciteta od 2.102 parking mesta, definisana su i mesta sa specifičnim režimom korišćenja. Za potrebe osoba sa invaliditetom obeleženo je ukupno 62 parking mesta, što predstavlja udeo od 2,95% u odnosu na ukupan kapacitet sistema u gradu. Pored toga, u sistemu je evidentirano i ukupno 19 rezervisanih parking mesta za potrebe određenih korisnika, službi i ustanova, što čini 0,90% od celokupnog broja parking mesta.



Slika 1: Mapa parking zona na području grada Šapca (izvor:autor)

Prema važećem cenovniku JKP „Parking-Šabac“, tarifni sistem obuhvata dve osnovne zone za parkiranje putničkih vozila. Na dostupnim zvaničnim uputstvima nije navedeno

maksimalno dozvoljeno vreme zadržavanja: jedna satna karta važi 60 minuta, a parkiranje se može produžavati kupovinom dodatnih satnih karata. Cena parkiranja u crvenoj zoni iznosi 42 dinara, a u plavoj zoni 36 dinara za svaki započeti sat. Korisnicima je na raspolaganju i karta po ceni od 156 dinara, koja važi 24 časa u obe zone. Plaćanje se može izvršiti slanjem SMS poruke, kao i kupovinom parking karte ili korišćenjem drugih dostupnih elektronskih načina plaćanja. Pored satnih i dnevnih karata, sistem obuhvata mesečne pretplate, povlašćene karte za stanare, posebne parking karte i rezervaciju parking mesta.

Dakle, u postojećem tarifnom sistemu parkiranja u Šapcu nije utvrđeno vremensko ograničenje u pogledu najvećeg dozvoljenog broja sati zadržavanja vozila u crvenoj i plavoj zoni, već se parkiranje može produžavati kupovinom dodatnih satnih karata. Pored toga, relativno povoljne cene dnevnih i mesečnih parking karata podstiču dugotrajno zauzimanje parking mesta, naročito u centralnom gradskom području. Takav tarifni sistem destimuliše kratkotrajno parkiranje i negativno utiče na obrt parking mesta, čime se smanjuje njihova raspoloživost za veći broj korisnika i dodatno povećava opterećenost najatraktivnijih lokacija.

3 ANKETNO ISTRAŽIVANJE STAVOVA KORISNIKA O FUNKCIONISANJU SISTEMA PARKIRANJA U ŠAPCU

Anketno istraživanje sprovedeno je putem internet upitnika¹², koji je bio aktivan i javno dostupan u trajanju od mesec dana. Upitnikom su prikupljeni podaci o navikama, iskustvima i stavovima korisnika u vezi sa parkiranjem u zoniranom području Šapca. Anketni obrazac popunio je ukupno 701 ispitanik. Istraživanjem nisu obuhvaćeni isključivo stanovnici Šapca, već i osobe koje ne žive na teritoriji grada, ali u Šabac dolaze i koriste parking mesta u zoniranom području. Takav pristup omogućio je obuhvatanje različitih kategorija korisnika, uključujući stanare centralnog područja, zaposlene, posetioce, kupce i korisnike javnih i ugostiteljskih sadržaja. Upitnik je sadržao ukupno 20 pitanja, raspoređenih u nekoliko međusobno povezanih tematskih celina.

Prva celina odnosila se na osnovne karakteristike ispitanika, odnosno pol i starosnu grupu, čime je omogućeno poređenje stavova različitih kategorija korisnika.

Druga celina obuhvatala je način korišćenja uličnih parking mesta, uključujući učestalost korišćenja, svrhu dolaska u zonirano područje, period dana u kome korisnik traži slobodno parking mesto, trajanje parkiranja i zonu u kojoj ispitanici najčešće parkiraju.

Treća tematska celina bila je usmerena na iskustva korisnika prilikom pronalaženja slobodnog parking mesta. Ispitivani su prosečno vreme traženja, mogućnost pronalaženja mesta u blizini odredišta, prihvatljivo vreme pešačenja do cilja i spremnost korisnika da plate višu cenu ukoliko bi se time skratilo vreme traženja parkinga. Četvrta celina obuhvatala je ocenjivanje zadovoljstva brojem raspoloživih mesta, sistemom naplate, cenom, kontrolom i ukupnom organizacijom sistema parkiranja. Za ocenjivanje je primenjena petostepena skala, na kojoj je ocena 1 označavala da je ispitanik veoma nezadovoljan, a ocena 5 da je veoma zadovoljan.

¹²

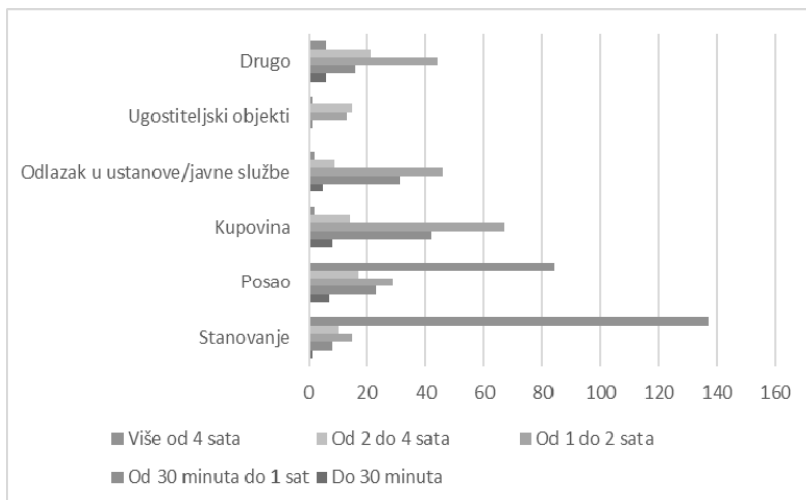
Link za pristup anketi: <https://forms.gle/GXCcVseCCX5RFAun8>

Peta celina odnosila se na prepoznavanje najznačajnijih problema parkiranja i izbor mera za unapređenje sistema. Ispitanici su mogli da izdvoje probleme povezane sa nedostatkom parking mesta, vremenom traženja, nepropisnim i dugotrajnim parkiranjem, cenom i kontrolom, kao i da izaberu mere poput izgradnje javne garaže, povećanja kapaciteta, uvođenja savremenih sistema informisanja i unapređenja kontrole. Završnim otvorenim pitanjem omogućeno je unošenje dodatnih komentara i predloga. Po završetku anketiranja odgovori su sistematizovani u elektronskoj bazi, koja je omogućila sprovođenje pojedinačnih i ukrštenih analiza.

4 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U nastavku su prikazani rezultati sprovedenog istraživanja, pri čemu se analiza zasniva na ukrštanju pokazatelja koji su ocenjeni kao najznačajniji za sagledavanje navika i stavova korisnika. Na narednom grafikonu prikazano je ukrštanje podataka o svrsi dolaska u zonirano područje Šapca i vremenu zadržavanja vozila na parking mestu. Dobijeni rezultati pokazuju jasne razlike u trajanju parkiranja u zavisnosti od razloga dolaska.

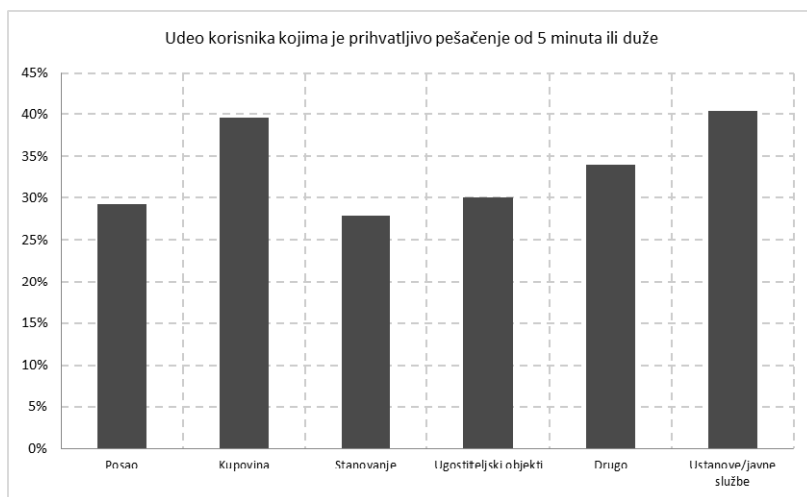
Najduže zadržavanje karakteristično je za ispitanike koji se parkiraju zbog stanovanja i odlaska na posao, kod kojih je izraženo parkiranje duže od četiri sata. Nasuprot tome, kod dolazaka radi kupovine i posete ustanovama ili javnim službama najzastupljenije je zadržavanje od jednog do dva sata, nakon čega sledi parkiranje u trajanju od 30 minuta do jednog sata. Kod poseta ugostiteljskim objektima češće je zadržavanje od dva do četiri sata, dok u kategoriji „drugo” preovlađuje parkiranje od jednog do dva sata. Rezultati ukazuju na to da stanovanje i odlazak na posao stvaraju najveću potražnju za dugotrajnim parkiranjem, čime se smanjuje obrt parking mesta, dok kupovina i posete ustanovama uglavnom generišu kraća zadržavanja i omogućavaju češću smenu korisnika.



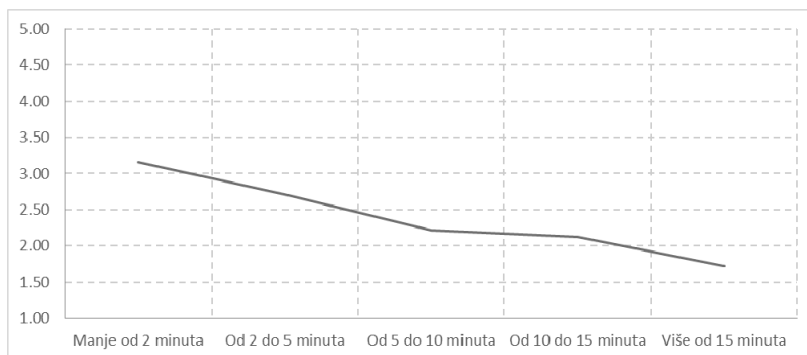
Grafik 1: Ukrštena analiza svrhe dolaska i vremena zadržavanja na parking mestu

U cilju sagledavanja uticaja svrhe dolaska na zahteve korisnika u pogledu lokacije parkiranja, izvršena je ukrštena analiza najčešće svrhe dolaska automobilom u zonirano

područje Šapca i prihvatljivog vremena pešačenja od parking mesta do krajnjeg odredišta. Analizom je utvrđena raspodela odgovora za svaku pojedinačnu svrhu dolaska, čime je omogućeno poređenje spremnosti različitih grupa korisnika da prihvate duže pešačenje do cilja. U svim posmatranim grupama najčešće je prihvatljivo vreme pešačenja od 2 do 5 minuta, što ukazuje na izraženu potrebu korisnika da parkiraju relativno blizu odredišta. Najveći udeo ispitanika kojima je prihvatljivo pešačenje od 5 minuta ili duže zabeležen je kod odlazaka u ustanove i javne službe (40,4%) i kupovine (39,6%). Nasuprot tome, najmanja spremnost na duže pešačenje prisutna je kod stanovanja (27,9%) i odlaska na posao (29,2%), što može ukazivati na veći značaj neposredne dostupnosti parking mesta kod redovnih i učestalih putovanja.



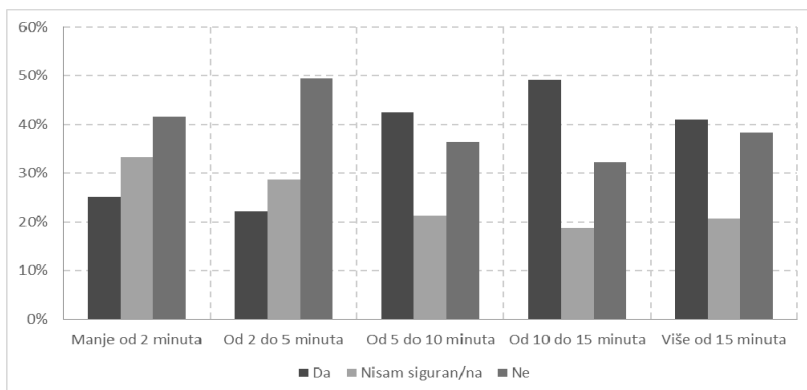
Na narednom dijagramu prikazana je prosečna ocena zadovoljstva organizacijom sistema parkiranja u zavisnosti od vremena potrebnog za pronalaženje slobodnog parking mesta. Za ocenjivanje je korišćena petostepena skala, na kojoj ocena 1 označava veoma nezadovoljne, a ocena 5 veoma zadovoljne korisnike.



Grafik 2: Prosečna ocena zadovoljstva organizacijom sistema parkiranja u zavisnosti od vremena traženja parking mesta

Rezultati pokazuju jasnu negativnu povezanost između vremena traženja parking mesta i zadovoljstva organizacijom sistema. Korisnici koji parking mesto pronalaze za manje od dva minuta dali su najvišu prosečnu ocenu, nešto iznad 3, što odgovara delimičnom zadovoljstvu. Sa produžavanjem vremena traženja prosečna ocena kontinuirano opada, pa kod korisnika kojima je potrebno od pet do petnaest minuta iznosi nešto više od 2. Najniže zadovoljstvo zabeleženo je među korisnicima koji parking mesto traže duže od 15 minuta, kod kojih je prosečna ocena približno 1,7. Dobijeni rezultati ukazuju na to da je mogućnost brzog pronalaženja slobodnog parking mesta jedan od značajnih činilaca korisničke percepcije organizacije sistema parkiranja. Ipak, rezultate treba tumačiti uz izvesnu rezervu, budući da vreme traženja iskazano u anketi predstavlja subjektivnu procenu korisnika, koja može odstupati od stvarnog trajanja usled ličnog doživljaja, prethodnih iskustava i moguće sklonosti ka precenjivanju vremena provedenog u traženju parking mesta.

Na narednom dijagramu prikazana je spremnost korisnika da plate višu cenu parkiranja radi bržeg pronalaženja slobodnog parking mesta, u zavisnosti od vremena koje im je trenutno potrebno za njegovo pronalaženje.



Grafik 3: Spremnost korisnika da plate višu cenu u zavisnosti od vremena traženja parking mesta

Rezultati pokazuju da spremnost za plaćanje više cene uglavnom raste sa produžavanjem vremena traženja parking mesta. Među korisnicima koji parking pronalaze za manje od pet minuta preovlađuje odgovor „ne”, sa učešćem od približno 42% do 49%, dok je na višu cenu spremno oko 22% do 25% korisnika. Kod ispitanika koji parking traže od pet do deset minuta odnos se menja, pa potvrđan odgovor postaje najzastupljeniji sa približno 42%. Najveća spremnost zabeležena je među korisnicima kojima je za pronalaženje mesta potrebno od 10 do 15 minuta, od kojih bi gotovo polovina platila višu cenu. Kod korisnika koji parking traže duže od 15 minuta učešće potvrđanih odgovora blago opada, ali i dalje ostaje veće nego kod korisnika koji mesto pronalaze za manje od pet minuta. Dobijeni rezultati ukazuju na to da duže vreme traženja povećava prihvatljivost više cene ukoliko bi ona korisnicima omogućila brže i jednostavnije parkiranje.

U okviru analize stavova korisnika razmotrene su prosečne ocene osnovnih elemenata parking sistema, najčešće uočeni problemi i mere koje ispitanici smatraju prioritetnim za

njegovo unapređenje. Na taj način sagledani su nivo zadovoljstva postojećim sistemom, njegovi ključni nedostaci i očekivanja korisnika u pogledu budućih mera unapređenja.

Prosečne ocene elemenata parking sistema pokazuju da su korisnici najpovoljnije ocenili sistem naplate (3,1) i cenu parkiranja (3,0), dok je sistem kontrole ocenjen nešto slabije (2,7). Najniže ocene dobili su organizacija sistema (2,1) i broj raspoloživih parking mesta (1,8), što ukazuje na to da nezadovoljstvo korisnika prvenstveno potiče od nedovoljne dostupnosti parkinga. Analiza najčešće uočenih problema potvrđuje prethodne rezultate. Nedovoljan broj parking mesta izdvojilo je približno 85% ispitanika, dok su dugo vreme traženja slobodnog mesta, nepropisno parkiranje i nedostatak mesta za stanare prepoznati kod približno polovine korisnika.

U skladu sa uočenim problemima, korisnici najveći prioritet daju izgradnji javne garaže, koju podržava oko 80% ispitanika, i povećanju broja parking mesta, sa približno 70% odgovora. Značajnu podršku ima i uvođenje prikaza slobodnih mesta u realnom vremenu, koje je izdvojilo oko 44% ispitanika, dok su promene cene parkiranja i bolja organizacija sistema dostave najmanje zastupljene. Rezultati pokazuju da korisnici unapređenje sistema prvenstveno vide u povećanju kapaciteta i lakšem pronalaženju slobodnog parking mesta.

5 ZAKLJUČAK

Rezultati anketnog istraživanja ukazuju na pretežno nepovoljnu percepciju dostupnosti i organizacije parkiranja u zoniranom području Šapca. Iako su sistem naplate i cena parkiranja ocenjeni relativno povoljnije, najniže prosečne ocene dobili su broj raspoloživih parking mesta i organizacija sistema. Kao najznačajnije probleme korisnici izdvajaju nedovoljan broj parking mesta, dugo vreme potrebno za pronalaženje slobodnog mesta, nepropisno parkiranje i nedovoljnu dostupnost mesta za stanare. Produžavanje vremena traženja praćeno je smanjenjem zadovoljstva organizacijom sistema, ali i većom spremnošću korisnika da prihvate višu cenu ukoliko bi ona omogućila brže pronalaženje mesta. Istovremeno, rezultati pokazuju da stanovanje i odlazak na posao generišu najduža zadržavanja, dok većina korisnika očekuje da se parkira na udaljenosti koja podrazumeva najviše nekoliko minuta pešačenja do cilja. Može se zaključiti da nezadovoljstvo korisnika ne proizlazi samo iz njihove percepcije nedostatka kapaciteta, već i iz otežane dostupnosti postojećih mesta, dugotrajnog zadržavanja vozila i nedovoljne smene korisnika.

Polazeći od navedenih rezultata, osnovna preporuka odnosi se na uvođenje vremenskog ograničenja parkiranja, pre svega u najatraktivnijim delovima crvene zone. U postojećem sistemu ne postoji ograničenje najvećeg dozvoljenog vremena zadržavanja, zbog čega se ulično parkiranje može koristiti tokom većeg dela dana kupovinom dodatnih satnih karata. Time se podstiče dugotrajno zauzimanje parking mesta u zonama najveće aktivnosti i smanjuje njihov obrt. Vremensko ograničenje trebalo bi uskladiti sa karakterom zone i dominantnim svrhama dolaska, kako bi se centralna parking mesta prvenstveno namenila kratkotrajnim korisnicima. Ovu meru potrebno je dopuniti povećanjem cene parkiranja i ukidanjem dnevnih i mesečnih karata koje omogućavaju celodnevno zauzimanje uličnih parking mesta u centralnoj zoni. Na taj način bi dugotrajno parkiranje postalo manje privlačno, dok bi se povećali smena korisnika i verovatnoća

pronalaženja slobodnog mesta. Efikasnost predloženog režima zahteva i doslednu kontrolu njegovog sprovođenja.

Poseban segment unapređenja sistema treba da predstavlja informisanje i edukacija korisnika. Iako ispitanici prepoznaju postojeće probleme, predložena rešenja uglavnom svode na izgradnju javne garaže i povećanje broja parking mesta, dok znatno manju podršku daju merama upravljanja potražnjom. Zbog toga je potrebno jasno predstaviti da povećanje kapaciteta samo po sebi ne obezbeđuje trajno poboljšanje ukoliko se istovremeno ne upravlja trajanjem parkiranja, cenom i namenom parking mesta u zonama najveće aktivnosti. Stručna literatura naglašava da primena mera upravljanja parkiranjem zahteva promenu načina na koji javnost razume parking probleme i upoznavanje korisnika sa raspoloživim merama i njihovim koristima [4]. Informisanje bi trebalo sprovoditi pre uvođenja promena i nastaviti tokom njihove primene, uz objavljivanje postignutih efekata, konsultovanje zainteresovanih strana i praćenje reakcija korisnika.

LITERATURA

- [1] Ahmadian, M. M., Khatami, M., Baker, D., & Paz, A. (2025). Understanding urban parking satisfaction: Implications for curb space management using multicriteria analysis. *Transportation Research Part A*, 194, 104418.
- [2] Cao, J., Menendez, M., & Waraich, R. A. (2019). Impacts of the urban parking system on cruising traffic and policy development: The case of Zurich downtown area, Switzerland. *Transportation*, 46(3), 883–908.
- [3] Marsden, G. (2006). The evidence base for parking policies—A review. *Transport Policy*, 13(6), 447–457.
- [4] Rye, T. (2010). Parking Management: A Contribution Towards Liveable Cities. Module 2c, Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn
- [5] Simićević, J., Vukanović, S. i Milosavljević, N. (2013). Uticaj naplate parkiranja i vremenskog ograničenja na korišćenje automobila i ponašanje pri parkiranju. *Transport Policy*, 30, 125–131.
- [6] Shoup, D. C. (2006). Cruising for parking. *Transport Policy*, 13(6), 479–486.

SUMMARY

Analysis of User Perceptions as a Function of On-Street Parking Characteristics in the Zoned Parking Area of the City of Šabac

Abstract: Parking is one of the key elements supporting the efficient functioning of urban transport systems, particularly in central urban areas, where the available parking capacity is often insufficient to meet demand. As motorization rates continue to increase, parking demand grows steadily, while the opportunities to accommodate it remain constrained by spatial and organizational factors, making parking one of the major

challenges faced by urban areas. Zoned parking represents one of the most widely applied parking demand management measures, aimed at improving parking space availability and ensuring more efficient use of the existing capacity. This paper examines user satisfaction with parking services within the zoned parking area of the City of Šabac, with particular emphasis on locations characterized by a pronounced imbalance between parking capacity and demand. Based on the results of the conducted questionnaire survey, the study aims to assess users' perceptions, needs and levels of satisfaction with the parking system, as well as to identify the key problems encountered by users within the zoned parking area of Šabac. The results provide a basis for formulating recommendations aimed at improving service quality and enhancing the efficiency of parking management in the central urban area.

Key words: parking, parking management, user perception, City of Šabac

Primjena električnih dostavnih vozila u logistici posljednje milje pješačkih zona – studija slučaja Herceg Novi

Miladin Vidaković, „Parking servis Herceg Novi“ d.o.o. Herceg Novi, miladin.vidakovic@parkinghn.me

Jelena Krešić, „Parking servis Herceg Novi“ d.o.o. Herceg Novi, jelena.kresic@parkinghn.me

Rezime: Savremeni urbani sistemi suočavaju se sa rastućim izazovima u oblasti logistike posljednje milje, odnosno završne faze distribucije robe do krajnjih korisnika, posebno u pješačkim i turističkim zonama gdje dolazi do konflikta između potreba snabdijevanja i očuvanja kvaliteta javnog prostora. U radu je predstavljen koncept organizacije dostave robe korišćenjem električnih dostavnih vozila na primjeru šetališta Pet Danica u Herceg Novom, kao model održive urbane logistike i primjene inteligentnih transportnih sistema.

Polazeći od analize postojećeg stanja, koje karakterišu gužve, povećano zagađenje, buka i smanjena bezbjednost pješaka usljed kretanja konvencionalnih dostavnih vozila, definisan je model eko-zoniranja sa kontrolisanim pristupom i prelaskom na električnu dostavu. Projekat, pokrenut 2025. godine od strane „Parking servisa Herceg Novi“ d.o.o. Herceg Novi, ima za cilj unapređenje kvaliteta životne sredine, povećanje bezbjednosti i uvođenje reda u dostavne procese na šetalištu.

Ključni element sistema predstavlja uspostavljanje mikro-logističkog centra (cross-dock) na periferiji zone, gdje se vrši konsolidacija robe i njena distribucija električnim vozilima prema krajnjim korisnicima. Poseban značaj ima primjena digitalnog sistema za upravljanje logističkim procesima, koji omogućava automatizaciju prijema narudžbi putem standardizovanih elektronskih obrazaca, optimizaciju rasporeda utovara u skladu sa kapacitetima vozila, kao i generisanje optimalnih ruta distribucije.

Rad analizira organizaciju sistema, tehničko-logističke i informacione komponente, kao i uslove implementacije, uz prikaz očekivanih efekata u pogledu smanjenja emisije štetnih gasova, buke i saobraćajnog opterećenja, te unapređenja kvaliteta urbanog prostora u turističkim zonama.

Ključne reči: električna dostavna vozila, urbana logistika, logistika posljednje milje, inteligentni transportni sistemi, cross-dock

1 UVOD

Savremeni urbani sistemi suočavaju se sa rastućim pritiscima na saobraćajnu infrastrukturu, posebno u turističkim i priobalnim gradovima gdje dolazi do sezonskog povećanja broja korisnika javnog prostora. Jedan od ključnih izazova predstavlja organizacija logistike posljednje milje, odnosno završne faze distribucije robe od distributivnih centara do krajnjih korisnika [1].

U kontekstu turističkih gradova, logistika posljednje milje ima dodatnu kompleksnost jer mora istovremeno zadovoljiti potrebe privrede i očuvati kvalitet urbanog ambijenta. U Herceg Novom, šetalište Pet Danica predstavlja centralnu pješačku zonu sa velikim brojem ugostiteljskih i trgovinskih objekata, što generiše kontinuiranu potrebu za organizovanom dostavom robe.

Tradicionalni model dostave, zasnovan na individualnim dolascima dobavljača, doveo je do povećanja saobraćajnog opterećenja, zagađenja i konflikta sa pješačkim režimom. U tom kontekstu, primjena održivih transportnih rješenja i inteligentnih transportnih sistema predstavlja ključan pravac razvoja savremene urbane logistike [2].

Rad se fokusira na analizu i implementaciju modela električne dostave i digitalizovanog upravljanja logističkim procesima u Herceg Novom, kao primjer praktične primjene savremenih rješenja u realnom urbanom okruženju.

2 ANALIZA PROBLEMA

Dostava robe u pješačkim zonama predstavlja multifaktorski problem koji uključuje tehničke, organizacione i ekološke aspekte [3]. Analizom stanja na šetalištu Pet Danica identifikovani su ključni izazovi koji značajno utiču na funkcionalnost i kvalitet urbanog prostora.

Najvažniji identifikovani problemi su:

- prisustvo velikog broja dostavnih vozila različitih dimenzija;
- nepostojanje koordinacije između dobavljača;
- vremenska neusklađenost isporuka;
- zagušenje prostora i ometanje kretanja pješaka;
- povećana emisija CO₂ i nivo buke;
- negativan uticaj na turistički doživljaj prostora.

Poseban problem predstavlja činjenica da svaki dobavljač organizuje isporuku nezavisno, bez centralizovanog sistema upravljanja, što dovodi do dupliranja troškova, povećane frekvencije vozila i smanjenja ukupne efikasnosti logističkih procesa.

U sezoni, kada broj posjetilaca višestruko raste, navedeni problemi postaju dodatno izraženi, čime se jasno ukazuje na potrebu za sistemskim pristupom i reorganizacijom logistike posljednje milje u pješačkim zonama.

3 MODEL RJEŠENJA

Predloženi model organizacije dostave zasniva se na konceptu eko-zoniranja i centralizacije logističkih tokova kroz logistički centar (cross-dock) smješten na periferiji pješačke zone [4] (Slika 1).



Slika 1: Logistički centar (cross-dock), arhiva Društva

Cross-dock funkcioniše kao tačka konsolidacije robe, gdje se sve isporuke dobavljača preusmjeravaju prije ulaska u pješačku zonu. Na ovaj način značajno se smanjuje broj vozila koja ulaze u zonu, dok se distribucija prema krajnjim korisnicima organizuje putem manjeg broja električnih dostavnih vozila (Slika 2).



Slika 2: Električna dostavna vozila, arhiva Društva

Proces distribucije obuhvata sljedeće faze:

- prijem robe od dobavljača;
- razvrstavanje i konsolidacija;
- planiranje distribucije;
- isporuka električnim dostavnim vozilima.

Primjenom ovog modela postiže se optimizacija logističkih tokova, smanjenje saobraćajnog opterećenja i značajno unapređenje upravljanja ograničenim prostorom unutar pješačke zone.

4 DIGITALNI SISTEM ZA UPRAVLJANJE DOSTAVOM

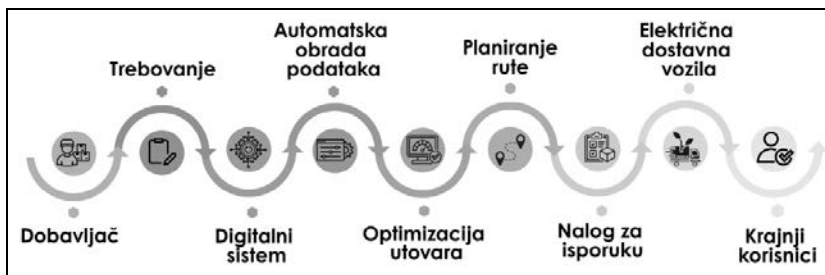
Primjena digitalnih rješenja predstavlja ključnu komponentu sistema i svrstava ovaj model u oblast inteligentnih transportnih sistema.

Digitalni informacijski sistem omogućava automatizaciju logističkih procesa, počev od prijema narudžbi do generisanja naloga za isporuku. Dobavljači dostavljaju narudžbe putem standardizovanih elektronskih obrazaca koji se automatski učitavaju i obrađuju u sistemu, bez potrebe za manuelnim unosom podataka.

Na osnovu dostupnih podataka sistem vrši:

- analizu obima isporuka;
- prioritizaciju zadataka;
- optimizaciju utovara u skladu sa kapacitetima vozila;
- planiranje optimalnih ruta distribucije;
- generisanje radnih naloga za realizaciju isporuke.

Prednost primjene ovakvog sistema ogleda se u smanjenju potrebe za manuelnim radom, eliminaciji grešaka u obradi podataka i značajnom ubrzanju organizacije logističkih procesa (Slika 3).



Slika 3: Dijagram toka logističkog procesa, arhiva Društva

Na taj način ostvaruje se integracija logističkog sistema sa savremenim informacionim tehnologijama, što predstavlja osnovu za dalji razvoj pametnih (smart) urbanih sistema upravljanja transportom.

5 IMPLEMENTACIJA SISTEMA

Tokom 2025. godine realizovane su ključne faze projekta, koje su omogućile implementaciju sistema električne dostave u pješačkoj zoni u prvom kvartalu 2026. godine [5]. U okviru projekta sprovedene su sljedeće aktivnosti:

- izgradnja logističkog centra (cross-dock);
- nabavka električnih dostavnih vozila;
- razvoj digitalne softverske platforme;
- definisanje i uvođenje operativnih procedura.

Sistem je implementiran kroz pilot fazu, koja omogućava testiranje njegove funkcionalnosti u realnim uslovima, kao i prilagođavanje operativnih parametara i optimizaciju procesa distribucije.

Očekivani efekti primjene sistema uključuju:

- smanjenje emisije štetnih gasova;
- smanjenje nivoa buke;
- povećanje bezbjednosti učesnika u prostoru;
- unapređenje logističke efikasnosti;
- racionalnije upravljanje urbanim prostorom (Slika 4).



Slika 4: Potapajući stubi, arhiva Društva

6 REZULTATI PRIMJENE SISTEMA

Sistem električne dostave u pješačkoj zoni zvanično je počeo sa radom sredinom aprila 2026. godine. U okviru prve faze sistem je bio operativan na potezu pješačke zone dužine 1,5 km [5]. Za potrebe ovog rada korišćeni su ostvareni operativni podaci za period od 1. maja do 15. avgusta 2026. godine. Kako bi analizom bio obuhvaćen cijeli mjesec, za period od 16. do 31. avgusta izvršena je projekcija na osnovu do tada ostvarenih rezultata, ustaljene dinamike rada sistema i stabilnog obima isporuka postojećim korisnicima. Vrijednosti koje se odnose na cjelokupan period od 1. maja do 31. avgusta stoga predstavljaju kombinaciju ostvarenih podataka do 15. avgusta i projektovanih vrijednosti za preostali dio mjeseca.

Prema podacima interne evidencije Službe logistike Društva, do datuma presjeka zaključena su 43 ugovora sa korisnicima sistema. Električna dostavna vozila do tog datuma, prema očitavanju kilometar-sata, prešla su ukupno 2.318 km i prevezla oko 283 tone robe. Za cjelokupan posmatrani period, uključujući projektovani dio avgusta, procijenjeno je ukupno 286 vožnji, odnosno dostavnih tura. Prosječan broj pojedinačnih isporuka iznosio je približno 12 po aktivnom radnom danu, pri čemu se aktivnim radnim danom smatra dan tokom kojeg je sistem bio operativan i evidentirana najmanje jedna isporuka.

Jedna vožnja električnog vozila obuhvata više isporuka različitim korisnicima, zbog čega broj vožnji nije jednak broju pojedinačnih isporuka. Procjena smanjenja broja ulazaka konvencionalnih dostavnih vozila zasnovana je na pretpostavci da bi, bez konsolidacije robe u mikro-logističkom centru, svaka evidentirana pojedinačna isporuka zahtijevala jedan zaseban ulazak vozila dobavljača u pješačku zonu. Na osnovu projektovanih 727 pojedinačnih isporuka procijenjeno je da bi bilo zamijenjeno približno 727 pojedinačnih ulazaka konvencionalnih dostavnih vozila.

Za procjenu izbjegnute emisije korišćena je procijenjena kilometraža zamijenjenih konvencionalnih vozila. Uz pretpostavljenu prosječnu kilometražu od 1,5 km po zamijenjenom ulasku i referentni faktor emisije od 0,113 kg CO₂e/km za prosječno dizel dostavno vozilo do 3,5 t [6], izbjegnuta emisija izračunata je na sljedeći način:
 $727 \times 1,5 \text{ km} \times 0,113 \text{ kg CO}_2\text{e/km} = 123,23 \text{ kg CO}_2\text{e}.$

Na osnovu navedenih pretpostavki procjenjuje se da bi do 31. avgusta bilo izbjegnuto približno 123 kg direktnih emisija CO₂e. Dobijena vrijednost predstavlja okvirnu, metodološki transparentnu procjenu zasnovanu na broju zamijenjenih ulazaka, pretpostavljenoj kilometraži i referentnom faktoru emisije, a ne rezultat neposrednog mjerenja emisija.

7 ZAKLJUČAK

Primjena električnih dostavnih vozila uz podršku digitalnog sistema za upravljanje logističkim procesima predstavlja održiv i efikasan model organizacije logistike posljednje milje u pješačkim zonama.

Predloženi sistem omogućava smanjenje saobraćajnog opterećenja, unapređenje bezbjednosti, kao i značajno umanje negativnih uticaja na životnu sredinu, uključujući emisiju štetnih gasova i nivo buke.

Rezultati implementacije kroz pilot fazu ukazuju na visok potencijal primjene ovog modela u savremenim urbanim sredinama, posebno u turističkim zonama sa izraženim prostornim i saobraćajnim ograničenjima.

Dalji razvoj sistema podrazumijeva kontinuirano praćenje operativnih pokazatelja, analizu performansi i mogućnost proširenja koncepta na druge urbane zone, uz integraciju naprednih pametnih tehnologija u cilju unapređenja održive urbane mobilnosti.

ZAHVALNICA

Autori izražavaju zahvalnost kolegama iz „Parking servisa Herceg Novi“ d.o.o. Herceg Novi, kao i svim partnerima koji su učestvovali u realizaciji projekta električne dostave u pješačkoj zoni.

Posebna zahvalnost upućuje se Opštini Herceg Novi kao ključnom partneru u realizaciji projekta, kao i kompanijama „Dock Solution“ d.o.o. Beograd, „Al.Tom GMP“ d.o.o. Beograd, „Role inženjering“ Herceg Novi, „Pane AG IQ Engineering“ d.o.o. Beograd i „Vozim na struju“ d.o.o. Beograd, na značajnom doprinosu u implementaciji sistema, kao i svim lokalnim partnerima na saradnji tokom realizacije projekta.

LITERATURA

- [1] Taniguchi, E. (2014). Logistics systems for sustainable cities;
- [2] European Commission (2020). Sustainable urban mobility plan;
- [3] Browne, M. (2012). Urban freight transport;
- [4] Allen, J. (2018). The role of urban consolidation centres;
- [5] Projekat električnih dostavnih vozila Herceg Novi, interna dokumentacija (2025);
- [6] Department for energy security and net zero (2026). 2026 Government greenhouse gas conversion factors for company reporting: Methodology paper, table 20.

SUMMARY

Application of electric delivery vehicles in last-mile logistics in pedestrian zones – case study of Herceg Novi

Abstract: Modern urban systems are facing increasing challenges related to last-mile logistics, particularly in pedestrian and tourist zones where conflicts arise between delivery requirements and the preservation of public space quality.

The paper presents a model of organizing goods delivery using electric delivery vehicles in the pedestrian zone of the Pet Danica promenade in Herceg Novi, as an example of sustainable urban logistics and the application of intelligent transport systems.

Based on the analysis of the existing situation, characterized by traffic congestion, increased pollution, noise, and reduced safety of pedestrians, a model of eco-zoning with controlled access and transition to electric delivery has been developed.

A key component of the system is the establishment of a micro-logistics center (cross-dock), where goods consolidation and distribution using electric vehicles are performed.

Special emphasis is placed on the implementation of a digital system for managing logistics processes, which enables automation of order processing, load optimization, and route planning.

The implementation of this model contributes to reducing emissions, improving safety, and enhancing the overall quality of urban space, while providing a foundation for further development of smart urban mobility solutions.

Key words: electric delivery vehicles, urban logistics, last-mile logistics, intelligent transport systems, cross-dock

Plenarna sesija 5

PLANIRANJE SAOBRAĆAJA

Da li planiramo biciklističku mrežu tamo gde je potrebna? Uloga saobraćajnih analiza u definisanju biciklističkih koridora u planskoj dokumentaciji

Ivan Ivanović, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, i.ivanovic@sf.bg.ac.rs

Dragana Petrović, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet,

dragana.petrovic@sf.bg.ac.rs

Vladimir Đorić, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, v.djoric@sf.bg.ac.rs

Sandra Mišić, Bosch Srbija, sandra.misic01@gmail.com

Rezime: Razvoj biciklističkog saobraćaja zahteva integrisano prostorno i saobraćajno planiranje, pri čemu planirana infrastruktura treba da odgovara stvarnim potrebama korisnika i obrascima kretanja stanovništva. U radu se razmatra mesto saobraćajnih istraživanja i analiza u procesu izrade prostorne i urbanističke planske dokumentacije, sa posebnim osvrtom na planiranje biciklističke infrastrukture. Na primeru grada Zaječara analiziran je odnos između biciklističkih koridora predviđenih postojećim planovima generalne regulacije i mreže definisane primenom saobraćajno-analitičkog pristupa. Analiza je obuhvatila tehničke i prostorne karakteristike saobraćajne mreže, istraživanje karakteristika kretanja, navika i stavova stanovnika, kao i identifikovanje značajnih izvora i ciljeva biciklističkih kretanja. Na osnovu rezultata ankete formirane su matrice kretanja i linije želja, koje su, zajedno sa prostorno-funkcionalnim karakteristikama ulične mreže, korišćene za definisanje prioriternih biciklističkih koridora. Rezultati ukazuju da koridori predviđeni planskom dokumentacijom ne obezbeđuju u potpunosti povezivanje svih značajnih zona i sadržaja, dok uključivanje saobraćajnih istraživanja omogućava formiranje funkcionalnije mreže usmerene ka svakodnevnim potrebama korisnika. Istovremeno, blagovremeno definisanje saobraćajno opravdanih koridora u planskoj dokumentaciji predstavlja važan preduslov za projektnu spremnost lokalne samouprave i mogućnost korišćenja budućih nacionalnih i međunarodnih izvora finansiranja. Rezultati potvrđuju potrebu za intenzivnijim uključivanjem saobraćajnih istraživanja u proces izrade planske dokumentacije, kako bi se planska rešenja zasnivala na transportnim potrebama stanovništva i omogućila pravovremena prioritizacija i realizacija infrastrukturnih projekata.

Ključne reči: planiranje saobraćaja, saobraćajna istraživanja, biciklistička infrastruktura, prostorni i urbanistički planovi

1 UVOD

Razvoj održivih vidova mobilnosti predstavlja jedan od ključnih elemenata savremenog planiranja urbanih saobraćajnih sistema. U tom kontekstu, biciklistički saobraćaj dobija sve značajniju ulogu, ne samo kao alternativni vid transporta, već i kao instrument za smanjenje negativnih efekata motorizovanog saobraćaja, povećanje dostupnosti urbanih sadržaja i unapređenje kvaliteta urbanog prostora. Međutim, stvaranje uslova za značajnije učešće biciklističkog saobraćaja ne zavisi samo od izgradnje

pojedinačnih infrastrukturnih objekata, već od postojanja povezane i funkcionalne biciklističke mreže koja odgovara stvarnim i potencijalnim potrebama za kretanjem.

Potreba za povezivanjem prostornog i saobraćajnog planiranja dugo je prepoznata u stručnoj i naučnoj literaturi kroz značaj integracije odluka u oblastima korišćenja zemljišta, saobraćaja i životne sredine, pri čemu se prepoznaje i horizontalna integracija između sektora i profesija unutar iste organizacije. Značajan deo istraživanja je tradicionalno bio usmeren na tehničke instrumente i mere, dok je manje pažnje posvećeno organizacionim, institucionalnim i implementacionim aspektima integracije. [1]

Koncept zajedničkog planiranja dostupnosti kao prepreke integrisanom planiranju identifikuju, između ostalog, potrebu za zajedničkim jezikom između disciplina i nedovoljnu podršku fazi oblikovanja planskih rešenja, upravo onoj fazi u kojoj su mogućnosti za integraciju najveće. Iz toga proizlazi da saobraćajna komponenta ne bi trebalo da bude naknadno prilagođena već definisanom prostornom rešenju, već da prostorna i saobraćajna rešenja treba razvijati kroz međusobno povezan proces. [2]

Ovaj princip posebno dolazi do izražaja kod planiranja infrastrukture namenjene održivim vidovima transporta. Prostorna distribucija stanovništva i aktivnosti određuje potencijalnu tražnju za putovanjima, dok karakteristike transportne mreže određuju dostupnost tih aktivnosti različitim vidovima prevoza. Zbog toga određivanje budućih saobraćajnih koridora samo na osnovu raspoloživog uličnog profila, postojećih infrastrukturnih koridora ili drugih prostornih pogodnosti ne mora nužno dovesti do saobraćajno optimalnog rešenja.

2 PLANIRANJE BIKIKLISTIČKE MREŽE

Integracija prostornog i saobraćajnog planiranja posebno je značajna u slučaju biciklističkog saobraćaja. Efekti pojedinačne biciklističke saobraćajnice u velikoj meri zavise od njene pozicije i funkcije unutar šire mreže. Izolovane deonice, čak i kada zadovoljavaju odgovarajuće tehničke standarde, imaju ograničenu upotrebnu vrednost ukoliko ne omogućavaju kontinuirano povezivanje značajnih izvora i ciljeva putovanja.

Zbog toga savremeni pristupi planiranju biciklističkog saobraćaja sve veću pažnju posvećuju mrežnom nivou. Izdvaja se razvoj mreže na osnovu željenih linija kretanja (*desire lines*) i ruta koje povezuju relevantne izvore i ciljeve kao odgovarajuća osnova za mrežno planiranje. Ovaj pristup kombinuje se sa podacima o potražnji, obrascima i preferencijama korisnika, kao i sa metodama optimizacije i prioritizacije investicija. [3]

Ovakav pristup podrazumeva bitno drugačiji redosled odlučivanja u odnosu na situaciju u kojoj se potencijalni biciklistički koridori identifikuju prvenstveno prema raspoloživim prostornim mogućnostima. U prvom slučaju polazno pitanje glasi „koje tačke u gradu je potrebno povezati?“, dok se tek nakon toga razmatra kojim fizičkim koridorom takvu vezu treba realizovati. U drugom slučaju polazno pitanje praktično postaje „gde postoji prostor za biciklističku infrastrukturu?“, što može dovesti do prostorno izvodljivih, ali mrežno manje značajnih rešenja.

U okviru mrežnog pristupa posebno mesto imaju identifikacija i rangiranje ključnih izvora i ciljeva kretanja, formiranje željenih veza između njih i naknadno prevođenje tih veza na fizičku uličnu mrežu. Kao relevantni generatori i atraktori mogu se posmatrati gradski i lokalni centri, škole, univerziteti, veliki poslodavci, zone koncentracije radnih mesta, zdravstvene ustanove, transportni terminali i drugi sadržaji.

Ovakav postupak omogućava da prostorno i saobraćajno planiranje funkcionišu dvosmerno. Prostorni raspored aktivnosti predstavlja osnovni ulaz za određivanje transportnih potreba, ali rezultati analize saobraćajne mreže istovremeno mogu ukazati na potrebu rezervisanja prostora za buduće koridore ili promenu postojećih planskih rešenja. Time se izbegava situacija u kojoj se saobraćajna mreža naknadno prilagođava prethodno definisanoj regulaciji prostora.

Značajno je napraviti razliku između pristupa razvoja i unapređenja biciklističke infrastrukture u već izgrađenim urbanim sredinama i u planiranim novim urbanim područjima. Savremena inostrana iskustva pokazuju da u planiranju novih urbanih područja mogućnost bezbednog, direktnog i kontinuiranog kretanja biciklom treba tretirati kao standardni element saobraćajnog sistema, dok se saobraćajnim analizama određuju hijerarhija mreže, položaj glavnih koridora i odgovarajući oblik infrastrukture, a ne opravdanost njenog postojanja. [5]

3 PLANSKA I PROJEKTNJA SPREMNOST KAO USLOV REALIZACIJE

Razlika između saobraćajno opravdanog koridora i koridora definisanog planskom dokumentacijom dobija dodatni značaj u fazi realizacije projekta. Za izgradnju infrastrukturnih objekata nije dovoljna samo identifikacija transportne potrebe. Potrebno je obezbediti odgovarajući planski osnov, rešiti prostorna i imovinsko-pravna pitanja, izraditi tehničku dokumentaciju i obezbediti finansiranje.

U međunarodnoj praksi finansiranja infrastrukturnih projekata ova pitanja se često razmatraju kroz koncept „*project readiness*”. Projektna spremnost može obuhvatiti različite nivoe pripremljenosti, od usklađenosti sa strateškim i planskim dokumentima, preko rešavanja prostornih, imovinskih i pitanja zaštite životne sredine, do postojanja tehničke, tenderske i druge dokumentacije potrebne za početak realizacije (npr. aktuelni projekat LIID - Local Infrastructure and Institutional Development¹³).

Ovaj odnos može predstavljati poseban izazov za projekte održive mobilnosti u lokalnim samoupravama u kojima postojeća planska dokumentacija ne sadrži biciklističke koridore koji su naknadnim saobraćajnim analizama identifikovani kao prioritetni. U takvoj situaciji može postojati opravdana transportna potreba i potencijal projekta, ali nedovoljna planska pripremljenost ograničava mogućnost njegove neposredne realizacije ili kandidovanja za određene izvore finansiranja.

Problem je posebno relevantan kada kriterijumi konkretnog programa finansiranja zahtevaju da predložena investicija bude prethodno sadržana ili podržana odgovarajućom planskom dokumentacijom. U tom slučaju kvalitet ranije izrađene planske dokumentacije neposredno utiče ne samo na buduću prostornu organizaciju saobraćaja već i na mogućnost lokalne samouprave da iskoristi raspoložive izvore finansiranja.

Time se otvara pitanje u kojoj meri biciklistički koridori sadržani u postojećoj planskoj dokumentaciji odgovaraju mreži koja bi bila definisana kada bi se planiranje započelo analizom transportnih potreba. Od posebnog interesa je utvrđivanje da li planski predviđeni koridori povezuju glavne generatore i atraktore putovanja, da li formiraju povezanu mrežu i u kojoj meri se podudaraju sa mrežom dobijenom primenom saobraćajno-analitičkog pristupa.

¹³ <https://liid.mgsi.gov.rs/sr/>

U ovom radu navedeni problem analizira se na primeru grada Zaječara.

4 STRATEŠKI I PLANSKI DOKUMENTI VAŽNI ZA RAZVOJ BIKIKLISTIČKE INFRASTRUKTURE U ZAJEČARU

Dve međunarodne biciklističke rute (Eurovelo 6 i Eurovelo 13) prolaze kroz region istočne Srbije, pri čemu EV 13 prolazi kroz grad Zaječar. Biciklistička strategija EU [10] među postavljenim ciljevima predviđa izgradnju i unapređenje biciklističke infrastrukture u okviru Eurovelo ruta koje prolaze i kroz Republiku Srbiju. Nacrt nacionalne strategije razvoja bicikliranja 2022 do 2026 [7] na državnom nivou Srbije, prepoznaje Zaječar u okviru razvoja cikloturizma. Dokument nije usvojen ali između ostalog predviđa i razvoj ruta koje bi povezale istočnu Srbiju, što bi moglo da otvori mogućnost gradu Zaječaru da u budućnosti po eventualnom usvajanju slične strategije ili izradi nove konkuriše za republička i evropska sredstva za izgradnju biciklističke infrastrukture.

U dokumentu „Plan razvoja grada Zaječara 2023-2029“ [8] razvoj biciklističkog saobraćaja je prepoznat kao element održive urbane mobilnosti, ali pre svega za ostvarenje poboljšanja saobraćajne povezanosti u službi turizma. Predviđena je izgradnja biciklističkih staza, sa ciljom vrednosti od 40 km biciklističkih staza do 2029. godine, ali pre svega namenjenih povezivanju postojećih i planiranih turističkih objekata.

U „Strategiji razvoja urbanog područja grada Zaječara i opština Knjaževac, Sokobanja i Boljevac“ [9] prepoznata je potreba za biciklističkim stazama u Zaječaru i okolini kroz oslobađanje centralnih zona od motornog saobraćaja i proširenje javnih pešačkih i biciklističkih površina, uz razvoj javnog prevoza i korišćenje vozila na alternativni pogon. Sa ciljem promovisanja održive multimodalne urbane mobilnosti planira se razvoj i povezivanje infrastrukture namenjene biciklističkom saobraćaju u urbanom području. Osim urbanog područja u planu je i uređenje nekadašnje „Belgijske pruge“ u biciklističku stazu što bi doprinelo cikloturizmu u području Zaječara.

Planovi generalne regulacije grada Zaječara br. 2 i br. 3 [10, 11] usvojeni tokom 2018. godine predviđaju površine za bicikliste na najopterećenijim saobraćajnicama. Ipak, mreža predviđena ovim planovima ne obezbeđuje adekvatnu povezanost svih stambenih zona sa centrom grada i ostalim značajnim sadržajima, što umanjuje njenu funkcionalnost.

Grad Zaječar nema izrađen Plan održive urbane mobilnosti, pa samim tim nedostaje važan planski dokument koji u velikoj meri može pomoći prepoznavanju važnosti razvoja biciklizma, kao i konkurisanju za finansiranje odgovarajućih projekata.

5 ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA BIKIKLISTIČKOG SAOBRAĆAJA U ZAJEČARU

5.1 Postojeća biciklistička infrastruktura

Geografske i topografske odlike Grada Zaječara predstavljaju izrazito povoljnu osnovu za razvoj biciklističkog saobraćaja u urbanom području (prosečna nadmorska visina oko 130 do 140m, uzdužni nagibi u urbanom području koji su uglavnom manji od 3% uz izuzetak izletišta i parkova na obodu grada, obale Crnog i Belog Timoka kao potencijal, umereno kontinentalna klima i veliki broj sunčanih i suvih dana).¹⁴

Grad Zaječar ima značajan potencijal za razvoj biciklističkog saobraćaja i zbog prolaska međunarodnog koridora „EuroVelo 13“ kroz grad, ali ova trasa je u gradu nedovoljno

¹⁴ <http://zajecar.info/geografske-karakteristike>

obeležena i građani sa njom nisu upoznati. Postojeća gradska biciklistička infrastruktura u centralnoj ulici Nikole Pašića (na ruti EV13) svodi se na nefunkcionalan i izolovan segment jednostrane dvosmerne biciklističke staze ivičnjakom odvojenom od kolovoza dužine oko 500m, koji nema adekvatnu signalizaciju, logičan početak i kraj, a koji neretko blokiraju parkirani automobili. U Zaječaru postoji jedna vangradska biciklistička staza koja duž puta „IB 35“ povezuje Zaječar i prigradsko naselje Grljan, od kolovoza je odvojena zelenim pojasom i obeležena je vertikalnom saobraćajnom signalizacijom, ali je asfaltni zastor u lošem stanju. Na ostatku urbanog područja ne postoji mreža biciklističkih staza. [12]

Usled odsustva kontinuirane mreže i infrastrukture za biciklistički saobraćaj, trenutno stanje ne ispunjava osnovne principe i kriterijume razvoja biciklističke infrastrukture, što ukazuje na potrebu za sistemskim planiranjem biciklističkog saobraćaja u budućnosti. Uprkos nedovoljno razvijenoj infrastrukturi, bicikl predstavlja značajan vid prevoza u svakodnevnom kretanjima stanovnika Zaječara i biciklistička kretanja su prisutna na svim kategorijama saobraćajnica.

Postojećim planovima generalne regulacije na području grada predviđen je određeni broj koridora biciklističke infrastrukture. Nezavisno od postojećih planskih rešenja sprovedeno je: snimanje tehničkih karakteristika saobraćajnica, saobraćajno istraživanje anketom, analiza karakteristika kretanja i identifikovanje značajnih centara produkcije i atrakcije.

5.2 Karakteristike kretanja stanovnika i stavovi o biciklističkoj infrastrukturi

Detaljna analiza postojećeg stanja u oblasti biciklističkog saobraćaja u Zaječaru sprovedena je sa ciljem utvrđivanja povezanosti, funkcionalnosti, kvaliteta i bezbednosti biciklističke infrastrukture i identifikovanja mogućnosti za njen razvoj u skladu sa održivom mobilnošću. Izvršena su terenska snimanja i istraživanja tehničkih karakteristika postojećih, planiranih i potencijalnih biciklističkih koridora, tj. svih saobraćajnica koje biciklisti u Zaječaru koriste bez obzira na trenutno prisustvo ili odsustvo infrastrukture.

Kako transportne potrebe građana direktno zavise od njihovih socio-ekonomskih karakteristika, sprovedena je anketa o karakteristikama kretanja, navikama i stavovima lokalnog stanovništva. Na osnovu podataka prikupljenih anketom kroz 24 pitanja utvrđena je: rodna, starosna i ekonomska struktura ispitanika; primarni način kretanja u gradu; posедovanje i upotreba bicikla; potencijalni faktori podsticanja na korišćenje bicikla; svrhe, rastojanja, izvori i ciljevi biciklističkih kretanja; izazovi prilikom biciklističkih kretanja; ocena bezbednosti, uslova za korišćenje bicikla i dostupnog parking prostora.

Anketa u domaćinstvu i anketa o stavovima stanovnika sprovedene su na ukupnom uzorku od 180 ispitanika. Raspodela ukupnih dnevnih kretanja po načinu ukazuje da se u Zaječaru 70% kretanja obavi nemotorizovanim načinima, od čega 63% pešice i 6% biciklom. Kretanja koja se obave motorizovanim načinima su raspodeljena na putnički automobil (26%), autobus (3%) i taksi (1%). Čak 60% dnevnih kretanja ima trajanje kraće od 15 minuta. Prosečna pređena distanca po kretanju iznosi 1,4km, pri čemu je 48% pojedinačnih kretanja realizovano na distancama kraćim od 1km, 32% na distancama od 1km do 2 km, 20% na distancama od 2km do 5 km.

Čak 73% ispitanika odgovorilo je da poseduje bicikl. U toj grupi ispitanika bicikl svakodnevno koristi 22%, nekoliko puta nedeljno 14% i povremeno 40%, dok 24% njih ne koristi bicikl iako ga poseduju (glavni razlog nedostatak infrastrukture i loša bezbednost).

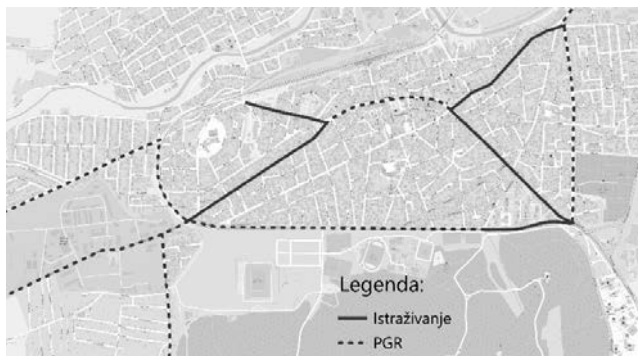
Građani koji ne koriste bicikl kao glavni potencijalni podsticaj prepoznaju izgradnju bezbedne biciklističke infrastrukture (57%), subvencije za kupovinu bicikala (17%) i uvođenje sistema javnih bicikala (13%). Korisnici bicikala kao glavne prepreke tokom vožnje navode nedostatak biciklističke infrastrukture (44%), parkirana vozila na površinama koje koriste (36%), loše stanje kolovoza (12%) i nedostatak parkinga za bicikle (8%). Biciklistička kretanja se obavljaju sa svrhom odlaska u kupovinu (39%), rekreacija (32%) i odlaska na posao (29%). [12]

Rezultati istraživanja ukazuju na visok stepen korišćenja nemotorizovanih kretanja za obavljanje svakodnevnih aktivnosti i veliki potencijal za promociju biciklističkih kretanja za sve svrhe kretanja. Sa druge strane stavovi ispitanika ukazuju na nepostojanje biciklističke infrastrukture i brojne probleme sa kojima se susreću biciklisti na saobraćajnicama Zaječara.

6 PLANIRANJE BIKIKLISTIČKE INFRASTRUKTURE USMERENO KA KORISNICIMA

Postojeće rešenje biciklističke infrastrukture iz PGR Zaječar predviđa biciklističku infrastrukturu u određenim ulicama na osnovu tehničkih i prostornih mogućnosti saobraćajne mreže. U ovom radu predloženi koncept razvoja biciklističke infrastrukture zasnovan je i na analizi tehničkih i prostornih mogućnosti, ali i na rezultatima sprovedenih saobraćajnih istraživanja kroz ankete iz kojih su formirane matrice kretanja i linije želja (*desire lines*) radi identifikacije dominantnih pravaca koje koriste biciklisti u Zaječaru. Odgovori na pitanja o izvorima i ciljevima biciklističkih kretanja, kao i o učestalosti kretanja bili su ulaz za definisanje IC matrica i mreže linija želja, a definisana je i matrica vremena putovanja. Prioritetni koridori definisani su kombinovanjem pravaca sa najvećim intenzitetom kretanja i realnih prostorno-funkcionalnih mogućnosti ulica. Predloženi koncept predstavlja nadogradnju predložene mreže iz PGR-a kako bi se definisali koridori biciklističke mreže sa najvećim potencijalom za svakodnevno korišćenje. Saobraćajna istraživanja kroz anketu građana i korisnika bicikla doprinela su da predloženi koncept razvoja biciklističke mreže poveže najvažnije generatore i atraktore kretanja u gradu, uzimajući u obzir stvarne potrebe korisnika. Na ovaj način obezbeđuje se da planirana mreža bude funkcionalna i usmerena ka povećanju učešća biciklističkog vida prevoza u ukupnoj strukturi kretanja.

Na osnovu rezultata sprovedenih saobraćajnih istraživanja formiran je predlog biciklističke mreže zasnovan na realnim potrebama za povezivanjem relevantnih urbanih sadržaja. Poređenjem dve mreže (mreže iz planske dokumentacije PGR i mreže dobijene saobraćajno-analitičkim pristupom) moguće je utvrditi stepen njihove prostorne podudarnosti, identifikovati planski definisane koridore koji istovremeno imaju značajnu mrežnu funkciju, ali i veze koje su saobraćajnom analizom identifikovane kao značajne, a nisu sadržane u postojećoj planskoj dokumentaciji. Primer Zaječara omogućava razmatranje šireg pitanja odnosa između prostornog planiranja, saobraćajnog planiranja i projektne spremnosti lokalnih samouprava za realizaciju projekata održive mobilnosti (Slika 1). Još jedan vrlo značajan aspekt je što primenjeni analitički pristup omogućava uspostavljanje prioriteta u razvoju buduće biciklističke mreže.



Slika 1: Predlog biciklističke mreže na osnovu PGRa i saobraćajnih istraživanja

7 ZAKLJUČAK

Analiza sprovedena na primeru Zaječara pokazuje da planiranje biciklističke infrastrukture ne treba zasnivati prvenstveno na raspoloživim prostornim mogućnostima, već na stvarnim transportnim potrebama stanovništva. Poređenje mreže predviđene planskom dokumentacijom sa mrežom formiranom na osnovu saobraćajnih istraživanja ukazuje da uključivanje podataka o obrascima kretanja, izvorima i ciljevima putovanja i stavovima korisnika omogućava definisanje funkcionalnije i svrsishodnije mreže.

Zbog toga bi saobraćajna istraživanja i analize trebalo intenzivnije uključivati već u proces izrade prostorne i urbanističke planske dokumentacije, odnosno u fazu formiranja planskih rešenja. Njihova uloga je posebno značajna iz dva razloga. Prvo, omogućavaju da se mreža oblikuje prema potrebama stanovnika i da se, na osnovu saobraćajnog značaja pojedinih koridora, utvrde prioritete njihove realizacije. Time se ograničena sredstva mogu usmeravati na deonice sa najvećim potencijalom za svakodnevno korišćenje i razvoj biciklističkog saobraćaja.

Drugo, pravovremeno unošenje saobraćajno opravdanih koridora u plansku dokumentaciju povećava plansku i projektnu spremnost lokalne samouprave. Buduće izvore finansiranja nije uvek moguće unapred predvideti, pa postojanje jasno definisanih prioriteta koridora i odgovarajućeg planskog osnova omogućava da lokalna samouprava spremnije odgovori na mogućnosti za finansiranje i realizaciju projekata.

Saobraćajna istraživanja zato ne treba posmatrati kao naknadnu proveru planskih rešenja, već kao jedan od osnovnih ulaza u njihovo formiranje – kako bi planirana mreža bila prema meri stanovnika, imala jasno definisane prioritete razvoja i predstavljala kvalitetnu osnovu za buduću realizaciju.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan uz podršku Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, u skladu sa Ugovorom o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada broj 451-03-137/2025-03/200128, zaključenim sa Saobraćajnim fakultetom Univerziteta u Beogradu.

LITERATURA

- [1] Geerlings, H., & Stead, D. (2003). The integration of land use planning, transport and environment in European policy and research. *Transport Policy*, 10(3), 187–196.

[https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(03\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(03)00020-9)

- [2] Straatemeier, T., & Bertolini, L. (2008). Joint Accessibility Design: Framework Developed with Practitioners to Integrate Land Use and Transport Planning in the Netherlands. *Transportation Research Record*, 2077(1), 1–8. <https://doi.org/10.3141/2077-01>
- [3] Gerike, R., Weikl, S., Koszowski, C., & Bogenberger, K. (2022). Network level design for cycling. *Advances in Transport Policy and Planning*. Vol. 10 (pp. 77–109). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.atpp.2022.04.005>
- [4] Mekuria, M. C., Furth, P. G., & Nixon, H. (2012). Low-Stress Bicycling and Network Connectivity. Mineta Transportation Institute, Report 11-19.
- [5] CROW, 2016. Design manual for bicycle traffic. Ede, The Netherlands: CROW.
- [6] European Cyclists' Federation. (2017). EU Cycling Strategy: Recommendations for delivering green growth and an effective mobility system in 2030. Brussels: European Cyclists' Federation.
- [7] Nacrt strategije razvoja bicikliranja u Republici Srbiji od 2022. do 2026. godine. Danube Competence Center, 2022.
- [8] Град Зајечар. (2023). План развоја Града Зајечара за период 2023–2029. године. Зајечар: Скупштина града Зајечара.
- [9] Град Зајечар. (2023). Стратегија развоја урбаног подручја града Зајечара и општина Књажевац, Сокобања и Бољевац. Зајечар: Град Зајечар.
- [10] Skupština grada Zaječara. (2018). Plan generalne regulacije grada Zaječara br. 3 – centar grada Zaječara, Službeni list grada Zaječara broj 34/18
- [11] Skupština grada Zaječara. (2018). Plan generalne regulacije grada Zaječara br. 2 severoistok, istok, jug i jugozapad grada Zaječara, Službeni list grada Zaječara broj 39/18
- [12] Мишић, С. (2026) Планирање развоја бициклистичке инфраструктуре у Зајечару, мастер рад, Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет.

SUMMARY

Are We Planning the Bicycle Network Where It Is Needed? The Role of Traffic Analysis in Defining Bicycle Corridors in Planning Documents

Abstract: The development of cycling requires integrated urban and transportation planning, where planned infrastructure should respond to the actual needs of users and the travel patterns of residents. This paper examines the role of transport surveys and analyses in spatial and urban planning, with a focus on bicycle infrastructure. Using the city of Zaječar as a case study, the paper compares bicycle corridors defined in the existing General Regulation Plans with a network developed through a transport analysis approach. The analysis included the technical and spatial characteristics of the transport network, travel patterns, habits and attitudes of residents, as well as the identification of important origins and destinations of bicycle trips. Based on the survey results, origin-destination matrices and desire lines were developed. Together with the spatial and functional characteristics of the street network, they were used to identify priority bicycle corridors. The results show that the corridors defined in the existing planning documents do not fully connect all important urban areas and destinations. The use of transport

surveys and analyses can help create a more functional bicycle network that better meets the everyday needs of users. At the same time, including transport-based priority corridors in planning documents at an early stage is important for the project readiness of local authorities and their ability to use future national and international funding opportunities. The results highlight the need for a stronger role of transport surveys and analyses in the preparation of planning documents, so that planned solutions are based on the actual travel needs of residents and provide a clear basis for setting priorities and implementing future infrastructure projects.

Key words: transportation planning, transport surveys, bicycle infrastructure, spatial and urban plans

Nacionalna podrška izradi Planova održive urbane mobilnosti – šta možemo naučiti od Slovenije?

Vladimir Đorić, Saobraćajni fakultet, Beograd, email: v.djoric@sf.bg.ac.rs

Ivan Ivanović, Saobraćajni fakultet, Beograd, email: i.ivanovic@sf.bg.ac.rs

Dragana Petrović, Saobraćajni fakultet, Beograd,
email: dragana.petrovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Planovi održive urbane mobilnosti (POUM ili SUMP) nisu zakonski obavezni planski dokumenti, već predstavljaju strateške i preporučene instrumente za unapređenje održivog razvoja saobraćaja i mobilnosti u gradovima. U velikom broju evropskih zemalja razvijene su nacionalne smernice za izradu planova održive urbane mobilnosti, koje su uglavnom usklađene sa metodologijom Evropske komisije, ali prilagođene nacionalnim zakonodavnim i institucionalnim okvirima. Ipak, stepen njihove razrađenosti i primene razlikuje se od zemlje do zemlje, pa dok neke države imaju detaljne nacionalne metodologije i programe podrške, u drugima se SUMP još uvek oslanja pretežno na evropske smernice i projektne inicijative. U Srbiji podrška izradi planova održive urbane mobilnosti postoji pre svega kroz međunarodne projekte, inicijative resornih institucija i rastući interes lokalnih samouprava, ali još uvek nije sistemski razvijena na nacionalnom nivou. Dokumenti koji podržavaju izradu SUMP-a u Srbiji postoje delimično kroz strateške i sektorske akte, ali još uvek ne postoji sveobuhvatan i formalno usvojen nacionalni metodološki okvir namenjen isključivo izradi ovih planova.

U radu će biti prikazane smernice slovenačke platforme za održivu mobilnost koje predstavljaju sveobuhvatan nacionalni skup metodoloških dokumenata koji podržavaju izradu opštinskih i regionalnih planova održive mobilnosti, uz usklađenost sa evropskom SUMP metodologijom i slovenačkim zakonodavstvom. Pored osnovnih smernica za izradu sveobuhvatnih strategija saobraćaja odnosno mobilnosti, platforma sadrži i tematske dokumente za pojedine oblasti kao što su pešačka infrastruktura, biciklistička infrastruktura, politika parkiranja, javni prevoz, mobilnost u okviru preduzeća i upravljanje urbanom logistikom. Poseban značaj smernica je u tome što su dopunjene prilogima, minimalnim standardima, indikatorima za praćenje efekata i dokumentima za uključivanje javnosti, čime se obezbeđuje praktična podrška za planiranje i implementaciju. Na taj način slovenačka platforma funkcioniše kao centralni nacionalni servis znanja i stručne podrške za gradove, opštine i regione u oblasti održive mobilnost. Akcenat je stavljen na razmatranje navedenih priloga uz komentar u odnosu na konkretne predloge u okviru smernica.

Ključne reči: planovi održive urbane mobilnosti, nacionalna podrška, nacionalne smernice

1 UVOD

Koncept održive urbane mobilnosti poslednjih godina dobija sve veći značaj u Srbiji, prateći evropske trendove usmerene ka unapređenju kvaliteta života, smanjenju

negativnih uticaja saobraćaja i razvoju održivih transportnih sistema. Iako planovi održive urbane mobilnosti još uvek nisu obavezni planski dokumenti u nacionalnom zakonodavnom okviru, prepoznati su kao važan strateški instrument za upravljanje razvojem saobraćaja u gradovima i opštinama. [1], [2] Promocija ovog koncepta u Srbiji odvija se kroz različite međunarodne projekte, stručne inicijative i aktivnosti institucija koje podržavaju lokalne samouprave u oblasti održivog planiranja mobilnosti. Posebnu ulogu u ovom procesu imaju institucije: Stalna konferencija gradova i opština (SKGO) koja kroz edukacije, stručne skupove i razvoj metodološke podrške doprinosi jačanju kapaciteta lokalnih samouprava za primenu principa održive urbane mobilnosti; i Nemačka organizacija za međunarodnu saradnju (GIZ) koja kroz tehničku podršku, ekspertsku pomoć i regionalne projekte pruža značajnu podršku razvoju održivih transportnih politika. Ove i druge institucije (ambasada Švedske, BFPE) su doprinele povezivanju Srbije sa praksama i iskustvima Evropske unije i drugih zemalja Zapadnog Balkana.

Posebno značajna inicijativa u ovom kontekstu jeste projekat ProSUMP, usmeren na uspostavljanje institucionalne i metodološke podrške za izradu planova održive urbane mobilnosti u lokalnim samoupravama na zapadnom Balkanu. U okviru projekta, kroz radionice kao što je „Okvir za planiranje održive urbane mobilnosti na Zapadnom Balkanu – Nacionalna podrška za planiranje održive urbane mobilnosti u Srbiji“ razvijaju se alati, smernice i modeli prilagođeni i specifičnostima Srbije, uz oslanjanje na evropsku SUMP metodologiju. Poseban akcenat stavljen je na razvoj nacionalnog okvira koji bi omogućio sistematičniju primenu koncepta održive mobilnosti u Srbiji, odnosno neku vrstu smernica za primenu koncepta održivog planiranja saobraćaja tj. mobilnosti. Krajnji cilj je jačanje stručnih kapaciteta lokalnih uprava, kao i podsticanje primene održivih mera u gradovima.

Kroz ovakve inicijative povećana je vidljivost koncepta održive urbane mobilnosti među donosiocima odluka, stručnom javnošću i lokalnim samoupravama. Istovremeno, otvoren je prostor za razmenu iskustava sa evropskim zemljama koje već imaju razvijene nacionalne smernice i praksu izrade SUMP-ova. Iako Srbija još uvek nema potpuno razvijen formalni nacionalni sistem podrške za izradu ovih planova, poslednjih godina učinjeni su značajni koraci u tom pravcu. Razvoj metodologije, edukacija i pilot-projekata pokazao je da postoji rastući interes za održivu urbanu mobilnost kao savremeni pristup planiranju saobraćaja. To je posebno važno u kontekstu izazova sa kojima se suočavaju srpski gradovi, kao što su povećanje broja vozila, saobraćajna zagušenja, zagađenje vazduha, bezbednost saobraćaja i slabljenje korišćenja javnog prevoza.

Promocija održive urbane mobilnosti u Srbiji danas predstavlja spoj međunarodne podrške, aktivnosti domaćih institucija i lokalnih inicijativa koje postepeno grade osnovu za širu primenu ovog koncepta. Dalji razvoj nacionalnih smernica, institucionalne podrške i praktične primene planova održive urbane mobilnosti biće od ključnog značaja za održivi razvoj gradova u Srbiji i njihovo približavanje evropskim standardima u oblasti planiranja saobraćaja.

2 PREGLED NACIONALNIH SMERNICA

Nacionalne smernice za izradu planova održive urbane mobilnosti predstavljaju metodološke i institucionalne dokumente kojima države pružaju podršku gradovima i opštinama u pripremi, sprovođenju i praćenju SUMP-a. Njihova osnovna uloga je da

evropski koncept održive urbane mobilnosti prilagode nacionalnom zakonodavnom, finansijskom i institucionalnom okviru, kako bi se obezbedila ujednačena i kvalitetna primena u različitim gradovima. Nacionalne smernice obično definišu metodologiju izrade, minimalni sadržaj plana, indikatore, postupke participacije, kao i mehanizme monitoringa i evaluacije. U mnogim evropskim zemljama ove smernice predstavljaju ključni instrument za povezivanje lokalnog planiranja mobilnosti sa nacionalnim saobraćajnim i klimatskim politikama. [1]–[5]

Pregled evropskih iskustava pokazuje da postoji značajna raznolikost u pristupu razvoju nacionalnih smernica za SUMP. Zemlje poput Grčke imaju zakonski definisan okvir koji precizno propisuje obavezu izrade SUMP-a za određene kategorije gradova i regiona, uz jasno definisane ciljeve i minimalne elemente planova. [6] Slovenija se izdvaja po razvijenoj nacionalnoj platformi sa velikim brojem specijalizovanih smernica za pojedine oblasti održive mobilnosti, uključujući pešačenje, biciklizam, politiku parkiranja i logistiku. [7] U nekim zemljama, kao što su Češka, Slovačka i baltičke države, poseban fokus je stavljen na prevođenje i nacionalnu adaptaciju evropskih SUMP smernica radi lakše primene na lokalnom nivou.

Karakteristike nacionalnih smernica razlikuju se u zavisnosti od institucionalnog razvoja pojedinih zemalja. U državama sa razvijenijim sistemima smernice uključuju detaljne metodologije, nacionalne indikatore, programe obuke i finansijske mehanizme podrške za gradove. U drugim zemljama smernice su više preporučujućeg karaktera i oslanjaju se na evropske dokumente kao osnovu za lokalnu primenu. Evropska komisija poslednjih godina dodatno podstiče države članice da uspostave nacionalne programe podrške za SUMP, uključujući nacionalne kontakt osobe, stručnu pomoć i koordinaciju između različitih nivoa vlasti. Takav pristup potvrđuje da nacionalne smernice nisu samo tehnički dokument, već važan instrument za sistemsko unapređenje održive urbane mobilnosti u evropskim zemljama.

U razvijenim evropskim zemljama kao što su Italija, Francuska i Nemačka, planovi održive urbane mobilnosti posmatraju se kao ključni strateški instrument za ostvarivanje klimatskih ciljeva, unapređenje kvaliteta života i integrisano upravljanje urbanim razvojem. Italija i Španija imaju nacionalne smernice koje se u potpunosti oslanjaju na metodologiju definisanu kroz zvanične EU - SUMP smernice. [4], [5] U Italiji je na snazi novi pristup strateškom planiranju urbane mobilnosti koji je strogo u skladu sa Smernicama Evropske komisije za SUMP. Nacionalna uredba utvrđuje obavezno usvajanje SUMP-a za sve opštine sa više od 100.000 stanovnika, isključujući one koje pripadaju metropolitanskim područjima koje moraju imati svoj integrisani SUMP. Počev od 2023. godine, usvajanje SUMP-a biće obavezno kako bi se pristupilo finansiranju u vezi sa javnim prevozom i promocijom programa bicikliranja. [8]–[10]

Francuska koncept održive urbane mobilnosti tradicionalno sagledava kroz širi okvir urbanog planiranja i teritorijalne kohezije, uz snažan fokus na javni prevoz, pristupačnost, kvalitet života i integraciju održive mobilnosti u sistem javnih politika. Ima svoje nacionalne smernice i pravni okvir za izradu planova održive urbane mobilnosti, koji se u ovoj zemlji nazivaju Planovi urbanih kretanja (franc. Plan de déplacements urbains - PDU). Ove prakse su u potpunosti usklađene sa evropskim SUMP principima, a u Francuskoj se sada često nazivaju i Planovi mobilnosti (Plans de mobilité - PDM). [11], [12]

Planovi održive urbane mobilnosti (SUMP) u Nemačkoj izrađuju se po metodologiji koja predstavlja direktnu integraciju opštih evropskih SUMP smernica i tradicionalnih nemačkih standarda planiranja saobraćaja. Nemačka pristupa SUMP-u kao visoko integrisanom i standardizovanom instrumentu koji naglašava participaciju, tehničku analitiku, jedinstvene nacionalne kriterijume kvaliteta i snažnu institucionalnu podršku lokalnim samoupravama kroz nacionalne programe podrške. Zajednička karakteristika ovih zemalja jeste da održivu urbanu mobilnost ne posmatraju samo kao saobraćajni koncept, već kao deo šire politike održivog urbanog razvoja, socijalne inkluzije, klimatske tranzicije i unapređenja urbanog prostora. [13], [14]

Tabela 1: Nacionalne smernice i prateći dokumenti za izradu SUMP-a u Evropi

<i>Zemlja</i>	<i>Tip dokumenta</i>	<i>Dokumenti obezbeđeni u okviru smernica</i>	<i>Karakteristične odlike</i>
<i>Italija – PUMS Guidelines / Vademecum</i>	<i>Nacionalne smernice + operativni priručnik</i>	<i>Metodološki priručnik za izradu PUMS; obrasci za analizu mobilnosti; set KPI indikatora; smernice za participaciju; vodič za monitoring i evaluaciju; smernice za finansiranje</i>	<i>Visok nivo standardizacije; obavezni indikatori performansi; povezanost sa javnim finansiranjem</i>
<i>Francuska – CEREMA guidance (Plan de mobilité)</i>	<i>Nacionalni okvir + tehnički vodiči</i>	<i>Tehnički vodiči za plan mobilnosti; alati za analizu teritorije; metodologija razvoja strategije; modeli akcionih planova; alati za evaluaciju i reviziju</i>	<i>Integracija sa prostornim planiranjem i teritorijalnim politikama</i>
<i>Nemačka – Nationale SUMP-Kriterien</i>	<i>Nacionalni kriterijumi + program podrške</i>	<i>Kriterijumi kvaliteta SUMP-a; kontrolne liste (checklists); metodološki vodiči za analizu; alati za participaciju; indikatori i monitoring okvir; programi obuke</i>	<i>Visoka standardizacija procesa; snažna institucionalna podrška</i>
<i>Grčka – National SUMP Framework</i>	<i>Nacionalni smernice + zakonski okvir</i>	<i>Metodološki vodič za SUMP; zakonski propisani elementi plana; alati za analizu saobraćaja; obavezni indikatori; smernice za participaciju; okvir za monitoring</i>	<i>SUMP delimično zakonski obavezan; snažna povezanost sa klimatskim politikama</i>
<i>Slovenija – SPTM / Smernice za CPS</i>	<i>Nacionalna platforma + tehničke smernice</i>	<i>Metodološke smernice za CPS; tematski priručnici (biciklizam, pešačenje, parking, javni prevoz); obrasci za analizu; indikatori mobilnosti; komunikacioni alati; alati za vizualizaciju</i>	<i>Najrazvijeniji paket tematskih smernica; snažan fokus na praktičnu primenu</i>
<i>European Commission – SUMP Guidelines</i>	<i>EU referentni okvir</i>	<i>SUMP priručnik (12 koraka); metodologija planiranja; alati za analizu problema; smernice za strategiju; alati za implementaciju; monitoring framework; participativni alati</i>	<i>Osnovni evropski standard koji oblikuje sve nacionalne smernice</i>

3 NACIONALNE SMERNICE U SLOVENIJI

Slovenačka platforma za održivu mobilnost sadrži širok skup metodoloških i tehničkih dokumenata namenjenih podršci izradi planova održive urbane mobilnosti i sprovođenju

održivih transportnih politika na lokalnom nivou. [7] U okviru platforme dostupne su nacionalne smernice, minimalni standardi, tehnički priručnici i tematski vodiči za oblasti pešačke i biciklističke infrastrukture, politike parkiranja, urbane logistike, učešća javnosti i dr. Platforma sadrži kako strateške smernice tako i praktične alate i primere dobre prakse, čime lokalnim samoupravama pruža sveobuhvatnu podršku za planiranje i implementaciju mera održive urbane mobilnosti. Termin koji se upotrebljava kao sinonim za Plan održive urbane mobilnosti je OCPS što znači opštinska sveobuhvatna saobraćajna strategija.

1. Nacionalne smernice za izradu OCPS [15]

Ove smernice definišu kompletan metodološki okvir za izradu lokalnih strategija održive mobilnosti, uključujući analizu postojećeg stanja, definisanje vizije i ciljeva, razvoj scenarija i izbor mera. Poseban akcenat stavljen je na participativni proces, gde se lokalna zajednica uključuje kroz sve faze planiranja. Dokument detaljno opisuje i način organizacije rada, uloge aktera i strukturu finalnog plana. Dodatno, smernice obezbeđuju standardizovan pristup kako bi se omogućila uporedivost planova između različitih opština.

2. Minimalni standardi za OCPS [16]

Minimalni standardi definišu obavezne elemente koje svaka OCPS mora da sadrži da bi bila prihvaćena i usklađena sa nacionalnim okvirom. Preciziraju se: minimalni nivo analitičkih podataka, obavezni indikatori i osnovni metodološki koraci. Dokument služi kao kontrolni mehanizam kvaliteta izrade strategija.

3. Smernice za infrastrukturu za pešačenje [17]

Ove smernice se fokusiraju na planiranje, projektovanje i unapređenje pešačke infrastrukture u urbanim sredinama. Daju tehničke preporuke za širinu trotoara, bezbednosne standarde, pristupačnost i povezivanje pešačkih trasa. Poseban deo odnosi se na kreiranje bezbednih i kontinualnih pešačkih mreža koje povezuju ključne gradske funkcije.

4. Smernice za biciklističku infrastrukturu [18]

Dokument definiše tehničke i prostorne standarde za planiranje biciklističke mreže u urbanim i ruralnim sredinama. Sadrže preporuke za projektovanje biciklističkih traka, raskrsnica i bezbednih ruta. Poseban akcenat je na kontinuitetu mreže i povezivanju ključnih destinacija poput škola, urbanih centara i stanica javnog prevoza uz promociju biciklizma kao ravnopravnog načina kretanja u gradovima.

5. Smernice za politiku parkiranja [19]

Dokument pruža okvir za upravljanje parkiranjem u gradovima sa ciljem smanjenja dominacije automobilske saobraćaja. Sadrži preporuke za određivanje cena parkiranja, zoniranje i upravljanje kapacitetima. Poseban akcenat stavljen je na balans između dostupnosti parkinga i podsticanja alternativnih vidova prevoza, a takođe povezuje politiku parkiranja sa smanjenjem saobraćajnih zagušenja i zagađenja.

6. Smernice za P+R sisteme i saobraćajna čvorišta [20]

Smernicama se definiše planiranje P+R sistema kao ključnog elementa multimodalne mobilnosti. Dokument opisuje lokacione kriterijume, kapacitet i integraciju sa javnim prevozom. Poseban deo odnosi se na dizajn saobraćajnih čvorišta koja omogućavaju jednostavno presedanje između različitih načina kretanja.

7. Smernice za mobilnost u kompanijama i institucijama [21]

Smernice predstavljaju pomoć školama, javnim institucijama i preduzećima da razviju sopstvene planove mobilnosti. Fokus je na analizi načina dolaska na posao zaposlenih, načinu dolaska korisnika i predlozima mera za promenu navika pri kretanju. Dokument uključuje preporuke za podsticanje biciklizma, javnog prevoza i deljenja prevoza radi smanjenja automobilske saobraćaja kroz promene na mikro-lokacijskom nivou.

8. Smernice za urbanu logistiku [22]

Dokument se bavi organizacijom i optimizacijom distribucije robe u urbanim sredinama sa posebnim fokusom na smanjenju emisija, optimizaciji ruta i regulisanju snabdevanja u gradskim zonama. Sadrži preporuke za vremenska ograničenja dostave i razvoj mikrologističkih centara uz promociju upotrebe vozila sa niskim emisijama i digitalnih sistema upravljanja logistikom.

Sve smernice zajedno čine integrisan nacionalni sistem koji omogućava standardizovano i praktično planiranje održive mobilnosti u Sloveniji. One kombinuju strateški nivo planiranja sa tehničkim detaljima i na taj način povezuju politiku, planiranje i implementaciju u jedinstven okvir. Predstavljaju dobro razvijen nacionalni sistem podrške POUM pristupu.

U nastavku rada fokus će biti stavljen na osnovna istraživanja koja su predviđena smernicama za izradu planova održive urbane mobilnosti. Posebna pažnja biće posvećena obimu i vrsti minimalnih istraživačkih aktivnosti koje se razlikuju u zavisnosti od veličine grada i složenosti saobraćajnog sistema. Analiziraće se suština predloženih neophodnih istraživanja, uz sagledavanje prednosti i nedostataka iz ugla saobraćajnih analiza.

4 OSNOVNA SAOBRAĆAJNA ISTRAŽIVANJA U NACIONALNIM SMERNICAMA SLOVENIJE

Osnovna saobraćajna istraživanja predviđena smernicama su veoma skromna, ali sa idejom da budu jednostavna i jeftina za primenu kao i da se omogući ponavljanje na godišnjem nivou. Obim neophodnih istraživanja je definisan u odnosu na veličinu područja. Osnovne karakteristike su date u narednoj tabeli.

Tabela 2. Poređenje aktivnosti po veličini opština [16]

Aktivnost / element	Do 6000 st.	Male opštine 6-16000 st.	Srednje opštine 16-100.000 st.	Velike opštine
Anketa za opštu javnost	min. 100 ispitanika	min. 200 ispitanika	min. 400 ispitanika	min. 500 ispitanika
Intervjui sa ključnim akterima	min. 10 intervjuja	min. 15 intervjuja	min. 25 intervjuja	min. 40 intervjuja
Javne rasprave o analizi stanja	min. 1 javna rasprava	min. 2 javne rasprave	min. 3 javne rasprave	min. 4 javne rasprave (različite lokacije)
Terenski obilasci	min. 4 terenska obilaska (pešačenje, biciklizam, JP i PA)	min. 4 terenska obilaska (pešačenje, biciklizam, JP i PA)	min. 5 terenskih obilazaka (+ upravljanje parkiranjem)	min. 6 terenskih obilazaka (+ urbana logistika)
Dodatna istraživanja	1 tačka brojanja (po 1 anketa ruta do škole i posla)	2 tačke brojanja (po 2 ankete ruta do škole i posla)	3 tačke brojanja (po 3 ankete ruta do škole i posla)	5 tačaka brojanja (po 5 anketa ruta do škole i posla)

Naročito su interesantna obavezna istraživanja za potrebe generisanja osnovnog seta indikatora (osnovni set od pet indikatora koji su navedeni u poglavlju 4.1):

- **Brojanja saobraćaja na preseku** – sprovodi se na odabranim tačkama u opštini, na glavnim putevima kroz centar. Brojanja saobraćaja su metodološki specifična jer se koriste za određivanje vidovne raspodele na preseku, birajući prometne gradske koridore na kojima postoje svi načini kretanja izbegavajući dominantno tranzitne pravce. Predviđeno je i da se beleži popunjenost vozila (PA i JP). Ukupna vidovna raspodela se generiše uprosečavanjem vrednosti na lokacijama brojanja. Brojanje treba da pokrije vršne (dvočasovne) periode na desetominutnim intervalima.

Komentar: Velika je zavisnost rezultata od izbora lokacije i vremena brojanja. Kroz izbor lokacija se mora voditi računa o tome da su to reprezentativne lokacije za opis saobraćajnih tokova radi beleženja promena u vremenu. Neophodno je da to budu saobraćajnice različitih kategorija (magistrala, primarna i sekundarna) da bi se obezbedila reprezentativna raspodele. Što se vremena tiče na rezultate će uticati period brojanja usled pogodnosti za korišćenje nemotorizovanih načina kretanja.

- **Anketa o kretanjima učenika do škole** 3, 5 i 7. razreda osnovne škole (u Srbiji 2, 4 i 6. razred) - sprovedena u odabranim školama u opštini. Analiza pruža podatke za obavezne indikatore 2 i 3. Akcenat je na najranjivijim kategorijama putnika. Prethodno je potrebno proveriti da li u školi postoje odeljenja u kojima se veliki deo dece organizovano prevozi i izbegavati takve situacije. Istraživanje se sprovodi na nivou celog odeljenja (prebrojavanjem odgovora učenika koji daju isti odgovor u vezi sa primarnim načinom dolaska u školu).

Komentar: Malo informacija koje anketa daje (samo raspodelu po načinima dolaska u školu) ali je na ovaj način moguće obuhvatiti veći uzorak. Evidentan je značaj koji se daje školskoj deci kao ranjivoj grupi putnika.

- **Anketa o kretanjima na posao** kod glavnih poslodavca u opštini. Ključna pitanja se odnose na frekvenciju korišćenja različitih načina kretanja za odlazak na posao, rastojanje i trajanje putovanja i procenat rada od kuće. Analiza pruža podatke za obavezni indikator 4 i 5. Ankete se sprovode standardno kao i kod drugih anketa što se vremena i prostora tiče.

Komentar: Na isti način u našim gradovima u okviru izrade POUMa rađena je anketa o frekvenciji putovanja na posao sa dodatkom mogućnosti generisanja raspodele po svrhama. U kontekstu značaja podataka, udaljenost je važnije pitanje od trajanja kretanja koje zavisi od načina kretanja.

Broj tačaka brojanja, osnovnih škola i radnih organizacija određen je minimalnim standardima. Predviđeno je da se istraživanja ponavljaju jednom godišnje tokom perioda trajanja plana, svaki put tokom istog dela godine, u isto vreme, na istim lokacijama, koristeći istu metodologiju i pod uporedivim vremenskim uslovima.

Komentar: Ankete o putovanju na posao i u školu su jednostavne, jeftine i omogućavaju godišnje ponavljanje. Zanimljiva je napomena da se svako učešće u anketi plaća na neki način.

4.1 Veza između istraživanja i indikatora mobilnosti

Nacionalnim smernicama je kao jedan od osnovnih ciljeva istaknuta uporedivost planova između različitih opština. Radi obezbeđivanja uporedivosti podataka, definisana je jedinstvena metodologija saobraćajnih istraživanja radi proračuna i praćenja indikatora. Propisano je pet obaveznih indikatora [15]:

1. Učešće i obim korišćenja vidova kretanja na glavnim saobraćajnicama,
2. Učešće korišćenja različitih načina kretanja do škole,
3. Udeo dece koja dolaze u školu bez pratnje odraslih,
4. Učešće korišćenja različitih načina kretanja do posla i
5. Dužina putovanja na posao i sa posla.

Analiza brojanja saobraćaja na preseku pruža podatke za obavezni indikator 1. Analiza kretanja učenika do škole pruža podatke za obavezne indikatore 2 i 3, a analiza kretanja na posao pruža podatke za obavezni indikator 4 i 5.

Posmatrajući relevantne evropske indikatore održive urbane mobilnosti (UMI - Urban Mobility Indicators) koji predstavljaju standardizovan skup pokazatelja koje Evropska unija razvija za praćenje uspešnosti sprovođenja planova održive urbane mobilnosti, glavne grupe indikatora se odnose na: emisije gasova sa efektom staklene bašte, saobraćajna zagušenja, bezbednost saobraćaja, vidovnu raspodelu putovanja, dostupnost mobilnosti, zagađenje vazduha i buku. [4], [23]

Očigledno je da se u nacionalnim smernicama Slovenije akcenat stavlja na vidovnu raspodelu koja prikazuje udeo pojedinih vidova prevoza, kao što su pešačenje, biciklizam, javni prevoz i automobil, u ukupnom broju putovanja. Specifičnost je izdvajanje najznačajnijih grupa putnika tj. školske dece i zaposlenih stanovnika. U drugu grupu po važnosti, a veoma blisko povezanom sa vidovnom raspodelom bi se mogli svrstati pokazatelji u vezi sa bezbednošću i dostupnošću usluga mobilnosti (kojom se meri dostupnost javnog prevoza i mogućnost lakog multimodalnog kretanja i dr.).

5 ZAKLJUČAK

S obzirom da su problemi u lokalnim samoupravama veoma slični onima u Sloveniji, smernice koje su predstavljene u ovom radu su dobra osnova za razvoj smernica u Srbiji. Osnovne sličnosti u odnosu na Srbiju se ogledaju u slaboj političkoj podršci strateškom planiranju (jer ne daje trenutne rezultate), tradiciji ulaganja u mere orijentisane ka putničkom automobilu, nedostatku kompetentnih stručnjaka za promenu paradigme planiranja, slaboj koordinaciji među službama, slabom prikupljanju podataka radi praćenja i evaluacije efekata primene mera, slabom uključivanju javnosti i zainetresovanih strana i angažovanju neadekvatnih i nekompetentnih kompanija za izradu dokumenata i izvođenje radova.

Posmatrajući smernice možemo videti put kojim bismo mogli da „hodamo“ u periodu koji zavisi samo od nas samih, u smislu odluke o tome koliko brzo želimo (ili ne želimo) da se na održiv način bavimo mobilnošću i saobraćajem. Pristup omogućava paralelno rešavanje svih prethodno navedenih problema, s tim što je značajan preduslov bolja politička podrška, a ono što najlakše možemo rešiti je inženjerski deo koji se odnosi na formiranje baze podataka koju je moguće pratiti u vremenu. Upravo u tom kontekstu jednostavno struktuirana baza istraživanja je početni korak koji je najvažniji. Evidentan je

uzor na uputstva zapadnih zemalja kojima se unificira inženjerski pristup, a time i ujednačava kvalitet.

Postoje i zamke koje nosi ovako pojednostavljen pristup gde se npr. izborom neadekvatnih lokacija može uticati na kvalitet rezultata, što znači da se veća pažnja mora posvetiti tom segmentu za koji je potrebno iskustvo inženjera. Nijedan pristup, pa ni ovaj, ne treba uzeti kao uzor bez prilagođavanja lokalnoj inženjerskoj praksi i okolnostima koje vladaju u lokalnim sredinama.

LITERATURA

- [1] Đorić, Vladimir, I. Ivanović, and D. Petrović, "Sustainable Urban Mobility Plans in Serbia - Where We Are and Where We Plan to Go?," in *Climate Crisis and Resilient Transportation Systems*. CSUM 2024., E. Nathanail, E.G., Gavanas, N., Adamos, Ed., Springer, Cham., 2025, pp. 14–27. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-82714-3_2.
- [2] K. Danilović, J. Nikolić, and V. Đorić, "Sustainable Urban Mobility Planning in Towns and Municipalities in Serbia," in *International Scientific-Professional Conference "15th Summer School Of Urbanism,"* 2019, pp. 299–306.
- [3] F. Wefering, S. Rupprecht, S. Bührmann, and S. Böhler-Baedeker, "Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan," 2014. [Online]. Available: www.eltis.org/mobility-plans
- [4] European Commission, "Sustainable urban mobility planning and monitoring." https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/urban-transport/sustainable-urban-mobility-planning-and-monitoring_en?prefLang=fr&utm_source=chatgpt.com
- [5] S. Rupprecht, L. Brand, S. Böhler-Baedeker, and L. M. Brunner, "Guidelines for developing and implementing a sustainable urban mobility plan, Second Edition," 2019. [Online]. Available: http://www.eltis.org/sites/eltis/files/sump_guidelines_en.pdf
- [6] Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, "Smernice: Grčka." <https://www.yme.gr/metafores/anaptixi-metaforon/sxedia-viosimis-astikis-kinitikotitas>
- [7] SPTM, "Smernice: Slovenija." <https://www.sptm.si/gradiva/smernice>
- [8] Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti, "Smernice: Italija." <https://www.mit.gov.it/documentazione/vademecum-per-la-redazione-del-piano-urbano-di-mobilita-sostenibile-pums>
- [9] Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili, "Vademecum Per La Redazione Del Piano Urbano Di Mobilità Sostenibile (PUMS)," 2022.
- [10] Ministero delle infrastrutture e dei Trasporti, "Piano Urbano Mobilità Sostenibile," 2019. [Online]. Available: https://cittametropolitana.mi.it/export/sites/default/PUMS/doc/Quadro_Conoscitivo-PUMS-Cm_di_Mi.pdf
- [11] Cerema, "Smernice: Francuska." <https://www.cerema.fr/fr/actualites/plan-mobilite-simplifie-guide-pratique-collectivites>
- [12] Cerema, "Le plan de mobilité simplifié," 2021.
- [13] Bundesministerium für verkehr, "Smernice: Nemačka."
- [14] Bundesministerium für verkehr, "Bestimmung relevanter Interessenträgerinnen und Interessenträger," 2025.
- [15] SPTM, "Potovali bomo udobneje, živeli bomo bolje," Apr. 2023.
- [16] SPTM, "MINIMALNI STANDARDI ZA IZDELAVO OCPS," 2024.
- [17] SPTM, "Hoja - temelj trajnostne mobilnosti, Nacionalne smernice za infrastrukturo za hojo," 2022.
- [18] Ministrstvo za infrastrukturo, "Kolesarjem prijazna infrastruktura," 2017.

- [19] SPTM, Sive prostore spreminjamo v zelene priložnosti Nacionalne smernice za izboljšanje lokalne parkirne politike. 2022.
- [20] Ministrarstvo za Infrastrukturo, "P+R - Smernice za vzpostavitev sistema P+R (parkiraj in presedi) in umeščanje vozlišč P+R v urbanih naseljih," 2017.
- [21] SPTM, Uvrstite mobilnost med strateške priložnosti. 2019.
- [22] SPTM, "Zelena mestna logistika za višjo kakovost življenja v mestu," 2022. [Online]. Available: https://www.sptm.si/application/files/3816/5389/8518/NacSmernice_NUML_BROSURA_a_pril2022_.pdf
- [23] Expert Group for Urban Mobility, "Egum Opinion on the Sustainable Urban Mobility Indicators," 2024.

SUMMARY

National Support for the Development of Sustainable Urban Mobility Plans – What Can We Learn from Slovenia?

Abstract: Sustainable Urban Mobility Plans (SUMP or POUM) are not legally mandatory planning documents, but rather strategic and recommended instruments for improving sustainable transport and mobility development in cities. In many European countries, national guidelines for the development of Sustainable Urban Mobility Plans have been developed, generally aligned with the European Commission's methodology, but adapted to national legislative and institutional frameworks. However, the level of their elaboration and implementation varies from country to country; while some countries have detailed national methodologies and support programmes, in others SUMP development still relies mainly on European guidelines and project-based initiatives.

In Serbia, support for the development of Sustainable Urban Mobility Plans exists primarily through international projects, initiatives of relevant institutions, and the growing interest of local self-governments, but it has not yet been systematically developed at the national level. Documents supporting SUMP preparation in Serbia exist partially within strategic and sectoral acts, but there is still no comprehensive and formally adopted national methodological framework dedicated exclusively to the development of these plans.

The paper presents the guidelines of the Slovenian Sustainable Mobility Platform, which represent a comprehensive national set of methodological documents supporting the development of municipal and regional sustainable mobility plans, aligned with the European SUMP methodology and Slovenian legislation. In addition to general guidelines for developing comprehensive transport or mobility strategies, the platform also includes thematic documents for specific areas such as pedestrian infrastructure, cycling infrastructure, parking policy, public transport, company-based mobility, and urban logistics management. A particular value of these guidelines lies in the fact that they are complemented by annexes, minimum standards, performance indicators, and public participation documents, providing practical support for both planning and implementation. In this way, the Slovenian platform functions as a central national

knowledge and expert support service for cities, municipalities, and regions in the field of sustainable mobility. Special emphasis will be placed on reviewing these annexes with commentary in relation to specific proposals within the guidelines.

Keywords: sustainable urban mobility plans, national support, national guidelines

Uloga planova održive urbane mobilnosti u zakonodavnom, planskom i strateškom okviru Republike Srbije

Jelena Mitrović Simić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, mjelena@uns.ac.rs

Vuk Bogdanović, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, vuk@uns.ac.rs

Valentina Mirović, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, plast@uns.ac.rs

Andrea Kovačević, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, kovacevicandrea@uns.ac.rs

Rezime: Planovi održive urbane mobilnosti (POUM) predstavljaju savremen plansko-strateški instrument usmeren ka unapređenju mobilnosti stanovništva, smanjenju negativnih uticaja saobraćaja na životnu sredinu, povećanju bezbednosti saobraćaja i unapređenju kvaliteta života u urbanim sredinama. Prepoznavanje POUM-a u zakonodavnom i strateškom okviru predstavlja važan preduslov za njihovu uspešnu primenu, institucionalnu podršku i dugoročnu održivost mera održive mobilnosti. Cilj rada je da analizira položaj, ulogu i stepen integracije POUM-a u zakonodavni, planski i strateški okvir Republike Srbije, kao i da sagleda njihov značaj za sprovođenje politika održivog urbanog razvoja. Istraživanje se zasniva na kvalitativnoj analizi relevantnih nacionalnih zakona, strateških i planskih dokumenata. Rezultati istraživanja ukazuju da važeći propisi Republike Srbije ne prepoznaju eksplicitno POUM kao poseban planski dokument, ali istovremeno ne postoje ni zakonske prepreke za njegovu izradu i primenu. Dobijeni rezultati omogućavaju sagledavanje mesta i značaja POUM-a u postojećem sistemu planiranja i upravljanja razvojem urbanih područja, kao i poređenje sa praksama koje se primenjuju u evropskim zemljama.

Ključne reči: planovi održive urbane mobilnosti (POUM), strateško planiranje, zakonodavni okvir, planski dokumenti, urbani razvoj.

1 UVOD

Plan održive urbane mobilnosti (POUM) predstavlja strateški okvir za dugoročno unapređenje sistema mobilnosti, sa ciljem da kretanje ljudi i robe bude efikasnije, bezbednije, pristupačnije i sa manjim negativnim uticajima na životnu sredinu. POUM je razvijen kao integrisan, participativan i na podacima zasnovan planski dokument koji prevazilazi tradicionalno sektorsko sagledavanje saobraćaja i podrazumeva usklađivanje sa prostornim, ekološkim, socijalnim i ekonomskim razvojem gradova [1].

Primena ovog koncepta omogućava dugoročno i koordinisano planiranje koje podstiče veću zastupljenost pešačenja, bicikliranja i javnog prevoza, uz racionalizaciju upotrebe putničkih automobila. Zahvaljujući takvom pristupu, POUM se smatra jednim od najvažnijih instrumenata savremenog urbanog razvoja za stvaranje bezbednijih, zdravijih, pristupačnijih, ekološki održivijih i kvalitetnijih gradova za život.

Usvajanje POUM-a predstavlja početak njegove implementacione faze, tokom koje strateški ciljevi i mere treba da budu pretočeni u konkretne aktivnosti, projekte, programe i investicije. Institucionalizacija i operacionalizacija treba da obezbede trajno uključivanje održive urbane mobilnosti u redovne procese upravljanja u gradovima. U skladu sa tim, institucionalizacija POUM-a podrazumeva utvrđivanje uloga i odgovornosti postojećih organa lokalne samouprave, organizacionih jedinica, javnih preduzeća, ustanova i drugih subjekata čije su nadležnosti neposredno ili posredno povezane sa urbanom mobilnošću. Operacionalizacija POUM-a, sa druge strane, predstavlja proces kojim se strateška opredeljenja POUM-a prevode u sistem sprovodivih mera i aktivnosti sa utvrđenim nosiocima, partnerima, rokovima, pokazateljima, izvorima finansiranja i mehanizmima praćenja.

Prepoznavanje POUM-a u strateškim, planskim i zakonskim okvirima predstavlja preduslov za njegovu doslednu primenu u praksi, obezbeđivanje institucionalne podrške i dugoročnu održivost predloženih mera, čime se planski dokumenti održive mobilnosti afirmišu kao sastavni deo savremenog sistema upravljanja urbanim razvojem. Iako važeći propisi u Republici Srbiji ne prepoznaju POUM kao posebnu vrstu planskog dokumenta, ne postoji zakonska prepreka za izradu ovakve vrste plana. Dosadašnja praksa iz evropskih gradova je pokazala da uvođenje zakonske obaveze za izradu POUM-a može predstavljati značajan podsticaj da veći broj gradova pristupi izradi i usvajanju ovih planova.

2 EVROPSKI OKVIR ZA PLANIRANJE ODRŽIVE URBANE MOBILNOSTI

Koncept POUM-a (eng. Sustainable Urban Mobility Plan – SUMP) tokom prethodnih decenija postepeno je afirmisan kao jedan od ključnih instrumenata evropske politike održive urbane mobilnosti. Evropska unija (EU) podstiče primenu ovog koncepta kroz strateške dokumente, smernice, programe finansiranja i razmenu dobre prakse između gradova. Evropska komisija je 2023. godine dodatno definisala koncept POUM-a i preporučila državama članicama uspostavljanje nacionalnih programa podrške njegovoj izradi i implementaciji [2], dok su 2026. godine objavljene i ažurirane POUM smernice treće generacije [1].

Poseban značaj za dalje institucionalno pozicioniranje POUM-a ima revidirana Uredba (EU) 2024/1679 o razvoju transevropske transportne mreže (TEN-T) [3]. Njome je predviđeno da do 31. decembra 2027. godine svaki urbani čvor obuhvaćen TEN-T mrežom usvoji i prati sprovođenje POUM-a, koji treba da obuhvati mere integracije različitih vidova prevoza, prelaska ka održivoj i niskoemisionoj mobilnosti, urbane logistike, smanjenja zagađenja vazduha i buke i, gde je primenljivo, unapređenja pristupačnosti. Države članice su, pored toga, obavezane da uspostave nacionalne programe za podršku urbanim čvorovima u izradi i sprovođenju POUM-a. Na ovaj način POUM, koji je dugo promovisan prvenstveno kroz evropske strateške dokumente, preporuke i smernice, za određenu kategoriju urbanih područja dobija i jasno mesto u regulatornom okviru EU.

Na nacionalnom nivou način regulisanja planiranja održive urbane mobilnosti razlikuje se među evropskim državama. U pojedinim državama postoje dugogodišnji zakonski definisani instrumenti urbanog transportnog planiranja (npr. Francuska). U drugim državama, kao što su Austrija, Nemačka, Portugal, Španija, Slovenija i Švedska, razvoj POUM-a podstican je kroz različite oblike nacionalnih smernica, programa podrške, povezivanja sa drugim planskim dokumentima ili mogućnostima finansiranja. Različiti

nacionalni pristupi pokazuju da institucionalizacija POUM-a ne podrazumeva jedinstven model, već njegovo prilagođavanje postojećem zakonodavnom, planskom i institucionalnom sistemu svake države [4].

3 POUM U STRATEŠKOM OKVIRU REPUBLIKE SRBIJE

Poseban značaj za afirmaciju POUM-a u Republici Srbiji ima **Strategija održivog urbanog razvoja Republike Srbije do 2030. godine**, koja predstavlja prvi strateški dokument na republičkom nivou koji eksplicitno prepoznaje i podstiče izradu POUM-a [5]. U okviru Strateškog pravca II: Uređenje urbanih naselja, paket mera 2.3 Pristupačnost, saobraćaj i urbana mobilnost, kao jednu od ključnih mera definiše pripremu, usvajanje i primenu POUM-a. POUM je na taj način prepoznat kao instrument za ostvarivanje ciljeva održivog urbanog razvoja i promenu pristupa planiranju saobraćaja, uz veće usmeravanje na javni prevoz, pešačenje i biciklizam, unapređenje pristupačnosti i primenu novih tehnologija u transportu. Strategijom je time uspostavljen strateški osnov za širu primenu koncepta održive urbane mobilnosti na lokalnom nivou.

Opređenja Strategije dodatno su operacionalizovana **Akcionim planom za sprovođenje Strategije održivog urbanog razvoja Republike Srbije do 2030. godine**, u kojem je priprema, usvajanje i primena POUM-a definisana kao posebna mera. Akcionim planom predviđene su aktivnosti koje se odnose na sprovođenje već izrađenih POUM-a u pojedinim gradovima, izradu planova u dodatnim jedinicama lokalne samouprave, kao i podsticanje održive urbane mobilnosti na lokalnom nivou. Na taj način POUM nije ostao samo načelno prepoznat u nacionalnom strateškom dokumentu, već je njegova primena povezana sa konkretnim aktivnostima sprovođenja Strategije, čime je dodatno ojačana njegova pozicija kao instrumenta za implementaciju politike održivog urbanog razvoja u Republici Srbiji.

Ostali analizirani nacionalni strateški dokumenti ne prepoznaju POUM kao poseban instrument planiranja, ali se pojedini njihovi ciljevi i opredeljenja mogu povezati sa principima održive urbane mobilnosti. **Generalni master plan saobraćaja u Srbiji do 2027. godine** [6] ovu vezu ostvaruje posredno, kroz unapređenje javnog i prigradskog prevoza, intermodalnosti i bezbednosti saobraćaja, dok **Strategija bezbednosti saobraćaja Republike Srbije za period od 2023. do 2030. godine**, sa pratećim **Akcionim planom** [7], sadrži ciljeve i mere usmerene na bezbednost ranjivih učesnika, bezbedniju infrastrukturu za pešake i bicikliste i upravljanje brzinama u urbanim sredinama. **Nacionalni program zaštite životne sredine** [8] sa ciljevima POUM-a povezuje se kroz smanjenje negativnih uticaja saobraćaja na životnu sredinu, uključujući emisije zagađujućih materija i gasova sa efektom staklene bašte i saobraćajnu buku. Navedeni dokumenti tako pokazuju da su pojedini elementi održive urbane mobilnosti zastupljeni u različitim sektorskim politikama, iako POUM nije eksplicitno prepoznat kao njihov instrument.

4 POUM U ZAKONODAVNOM I PLANSKOM OKVIRU REPUBLIKE SRBIJE

4.1 Zakonodavni okvir

Zakon o planskom sistemu Republike Srbije [9] uspostavlja osnovni okvir planskog sistema i razlikuje dokumente razvojnog planiranja, dokumente javnih politika i ostale planske dokumente. Dokumenti javnih politika obuhvataju strategiju, program, koncept

politike i akcioni plan, dok Zakon predviđa i mogućnost da jedinice lokalne samouprave donose druga planska dokumenta u skladu sa Zakonom i svojim statutima. POUM nije eksplicitno naveden ni u jednoj od propisanih kategorija, zbog čega njegov formalni položaj u sistemu planskih dokumenata nije neposredno određen ovim zakonom.

Poseban značaj za sagledavanje odnosa POUM-a prema sistemu javnih politika ima **Uredba o metodologiji izrade dokumenata javnih politika** [10], kao prateći podzakonski akt Zakona o planskom sistemu, kojom se uređuje metodološki okvir za izradu, sprovođenje, praćenje i vrednovanje dokumenata javnih politika. Uredbom je saobraćaj prepoznat kao jedna od oblasti planiranja javnih politika, a metodologija obuhvata analizu postojećeg stanja i problema, utvrđivanje ciljeva i pokazatelja učinka, definisanje i analizu mera, uključivanje zainteresovanih strana, kao i praćenje i vrednovanje ostvarenih učinaka. Iako Uredba ne prepoznaje POUM kao posebnu vrstu dokumenta javne politike, navedeni metodološki zahtevi u velikoj meri odgovaraju procesu njegove izrade. Posebno je značajna podudarnost implementacionog dela POUM-a sa sadržajem akcionog plana propisanim Uredbom, koji obuhvata definisanje mera i aktivnosti, nosilaca, rokova realizacije, pokazatelja, potrebnih finansijskih sredstava i izvora finansiranja. Navedena metodološka kompatibilnost ukazuje na mogućnost usklađivanja procesa izrade i sprovođenja POUM-a sa postojećim metodološkim okvirom za upravljanje javnim politikama, iako njegov formalni status nije posebno definisan.

Zakon o planiranju i izgradnji [11], kao osnovni zakonski okvir prostornog i urbanističkog planiranja u Republici Srbiji, ne prepoznaje POUM kao posebnu vrstu planskog dokumenta. Ipak, prostorni i urbanistički planovi i POUM imaju komplementarnu ulogu: dok prvi stvaraju prostorne i infrastrukturne uslove za razvoj saobraćajnog sistema, POUM je usmeren na integrisano planiranje mobilnosti i povezivanje različitih vidova kretanja sa ciljevima održivog urbanog razvoja. Zbog toga realizacija mera POUM-a koje zahtevaju infrastrukturne i prostorne intervencije zavisi od njihove usklađenosti sa odgovarajućim prostorno-urbanističkim planskim dokumentima.

Ni ostali analizirani sektorski zakoni ne prepoznaju POUM kao poseban planski instrument, ali uređuju oblasti značajne za ostvarivanje njegovih ciljeva. **Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima** [12] relevantan je naročito u pogledu bezbednosti ranjivih učesnika, upravljanja brzinama i stvaranja bezbednijih uslova kretanja u urbanim sredinama. **Zakon o putevima** [13] obezbeđuje okvir za planiranje, razvoj i upravljanje putnom infrastrukturom, značajan za realizaciju infrastrukturnih mera POUM-a, dok se **Zakon o zaštiti životne sredine** [14] sa njegovim ciljevima povezuje kroz smanjenje negativnih uticaja saobraćaja na kvalitet vazduha, nivo buke i emisije gasova sa efektom staklene bašte. Navedeni zakoni tako predstavljaju sektorski okvir relevantan za sprovođenje pojedinih mera održive urbane mobilnosti, iako ne uređuju POUM kao integrisani instrument planiranja.

4.2 Planski okvir

Pored zakonodavnog okvira, za sagledavanje položaja POUM-a značajna je i postojeća prostorno-urbanistička planska dokumentacija. **Prostorni plan Republike Srbije** [15] predstavlja planski dokument najvišeg nivoa, dok se njegova planska rešenja dalje razrađuju kroz **regionalne prostorne planove, prostorne planove jedinica lokalne samouprave i urbanističke planove**. POUM nije deo ove hijerarhije planskih dokumenata,

ali je sa njima neposredno povezan, naročito na lokalnom nivou, gde prostorno-urbanistički planovi obezbeđuju prostorne i regulatorne uslove za realizaciju njegovih mera. To se posebno odnosi na razvoj i reorganizaciju saobraćajne mreže, infrastrukturu javnog prevoza, pešačke i biciklističke površine, parkiranje i uređenje javnih prostora. Zbog toga usklađenost POUM-a sa važećim prostorno-urbanističkim planovima predstavlja značajan uslov za sprovođenje infrastrukturnih i prostornih mera održive urbane mobilnosti.

5 ZAKLJUČAK

Analiza strateškog, zakonodavnog i planskog okvira Republike Srbije pokazuje da položaj POUM-a nije jednoznačno definisan. Strategija održivog urbanog razvoja Republike Srbije do 2030. godine predstavlja ključni nacionalni dokument koji eksplicitno prepoznaje pripremu, usvajanje i primenu POUM-a, dok se u drugim analiziranim strateškim dokumentima njegovi principi i ciljevi pojavljuju posredno, kroz oblasti transporta, bezbednosti saobraćaja i zaštite životne sredine. Analizirani zakoni, međutim, ne prepoznaju POUM kao posebnu vrstu planskog dokumenta. Ipak, Zakon o planskom sistemu ostavlja mogućnost jedinicama lokalne samouprave da donose i druga planska dokumenta, dok analiza Uredbe o metodologiji izrade dokumenata javnih politika pokazuje visok stepen kompatibilnosti metodoloških zahteva propisanih Uredbom sa procesom izrade POUM-a, posebno u pogledu analize postojećeg stanja, definisanja ciljeva, mera i pokazatelja, participacije, finansiranja, praćenja i vrednovanja.

POUM nije deo formalne hijerarhije prostorno-urbanističkih planskih dokumenata, ali je njegova primena sa njima neposredno povezana, naročito kada mere održive mobilnosti zahtevaju infrastrukturne i prostorne intervencije. Sagledani okvir pokazuje da je POUM u Republici Srbiji strateški prepoznat i metodološki kompatibilan sa postojećim sistemom javnih politika, ali bez jasno definisanog formalnog položaja u zakonodavnom i planskom sistemu. Njegovo sprovođenje se oslanja na povezivanje sa postojećim strateškim, sektorskim i prostorno-urbanističkim dokumentima i njihovu međusobnu usklađenost.

Na osnovu sprovedene analize može se oceniti da bi POUM najprirodnije bilo pozicionirati u okviru sistema planskih dokumenata uređenog Zakonom o planskom sistemu Republike Srbije, kao planski dokument lokalnog nivoa, uz jasno definisan odnos prema dokumentima javnih politika i odgovarajući akcioni deo kojim bi se obezbedila njegova implementacija. Ovakvo pozicioniranje podržava visok stepen metodološke kompatibilnosti procesa izrade POUM-a sa zahtevima Uredbe o metodologiji izrade dokumenata javnih politika, dok bi istovremeno trebalo obezbediti njegovu usklađenost sa prostorno-urbanističkim planskim dokumentima radi realizacije mera koje zahtevaju infrastrukturne i prostorne intervencije. Na taj način bi se postojeće strateško prepoznavanje POUM-a dopunilo njegovim jasnijim položajem u planskom sistemu, uz očuvanje njegove integrisane i interdisciplinarne prirode.

ZAHVALNICA

Rezultati prikazani u ovom radu su deo istraživanja projekta "Istraživanje trendova u razvoju održivih saobraćajnih i logističkih sistema" Departman za saobraćaj, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Univerzitet u Novom Sadu, Republika Srbija.

LITERATURA

- [1] Rupperecht Consult - Forschung & Beratung GmbH (editor), Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan, Third Edition, 2026.
- [2] Commission Recommendation (EU) 2023/550 of 8 March 2023 on National Support Programmes for Sustainable Urban Mobility Planning (notified under document C(2023) 1524), <http://data.europa.eu/eli/reco/2023/550/oj>
- [3] European Parliament and Council of the European Union (2024). Regulation (EU) 2024/1679 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 on Union guidelines for the development of the trans-European transport network, amending Regulations (EU) 2021/1153 and (EU) No 913/2010 and repealing Regulation (EU) No 1315/2013. Official Journal of the European Union, L, 28 June 2024.
- [4] European Commission, EU Urban Mobility Observatory, https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/sustainable-urban-mobility-plans/member-state-profiles_en, pristupljeno: 24.8.2026.
- [5] Strategija održivog urbanog razvoja Republike Srbije do 2030. godine. (Sl. glasnik RS, br. 47/2019)
- [6] Ministarstvo za infrastrukturu Republike Srbije (2010). Generalni master plan saobraćaja u Srbiji do 2027. godine. Beograd.
- [7] Strategija bezbednosti saobraćaja Republike Srbije za period od 2023. do 2030. godine sa Akcionim planom za period od 2023. do 2025. godine. (Sl. glasnik RS, br. 84/2023)
- [8] Nacionalni program zaštite životne sredine. (Sl. glasnik RS, br. 12/2010)
- [9] Zakon o planskom sistemu Republike Srbije. (Sl. glasnik RS, br. 30/2018)
- [10] Uredba o metodologiji izrade dokumenata javnih politika (2025). (Sl. glasnik RS, br. 20/2025)
- [11] Zakon o planiranju i izgradnji (Sl. glasnik RS, br. 72/2009, 81/2009 - ispr., 64/2010 - odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - odluka US, 50/2013 - odluka US, 98/2013 - odluka US, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019 - dr. zakon, 9/2020, 52/2021, 62/2023 i 91/2025)
- [12] Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima (Sl. glasnik RS, br. 41/2009, 53/2010, 101/2011, 32/2013 - odluka US, 55/2014, 96/2015 - dr. zakon, 9/2016 - odluka US, 24/2018, 41/2018, 41/2018 - dr. zakon, 87/2018, 23/2019, 128/2020 - dr. zakon, 76/2023 i 19/2025)
- [13] Zakon o putevima (Sl. glasnik R, br. 41/2018, 95/2018 - dr. zakon i 92/2023 - dr. zakon)
- [14] 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, 95/2018 - dr. zakon i 94/2024 - dr. zakon)
- [15] Prostorni plan Republike Srbije (Sl. glasnik RS", br. 88/2010)

SUMMARY

The Role of Sustainable Urban Mobility Plans in the Legislative, Planning and Strategic Framework of the Republic of Serbia

Abstract: Sustainable Urban Mobility Plans (SUMPs) represent a contemporary planning and strategic instrument aimed at improving mobility, reducing the negative environmental impacts of transport, enhancing road safety, and improving the quality of life in urban areas. The recognition of SUMPs within legislative and strategic frameworks

is an important prerequisite for their successful implementation, institutional support, and the long-term sustainability of sustainable mobility measures. The aim of this paper is to analyse the position, role, and level of integration of SUMPs within the legislative, planning, and strategic framework of the Republic of Serbia, as well as to examine their significance for the implementation of sustainable urban development policies. The research is based on a qualitative analysis of relevant national legislation, strategic documents, and spatial and urban planning documents. The results indicate that the current regulatory framework of the Republic of Serbia does not explicitly recognise SUMPs as a distinct type of planning document, while at the same time there are no legal barriers to their preparation and implementation. The findings provide insight into the position and significance of SUMPs within the existing system of planning and urban development management and enable comparison with practices applied in European countries..

Key words: Sustainable Urban Mobility Plans (SUMPs), strategic planning, legislative framework, planning documents, urban development

Procena generisanog saobraćaja za potrebe saobraćajnih analiza u gradu Beogradu: poređenje sa ITE preporukama

Kosta Jovanov, NOVIUS d.o.o, Beograd, email kosta.jovanov@novius.rs

Mladen Nedeljkov, PR MLDN, Beograd, email nmladjo@gmail.com

Petar Reković, NOVIUS d.o.o, Beograd, email petar.rekovic@novius.rs

Filip Trajković, NOVIUS d.o.o, Beograd, email filip.trajkovic@novius.rs

Viktor Pavlović, NOVIUS d.o.o, Beograd, email viktor.pavlovic@novius.rs

Rezime: Procena uticaja novoplaniranih objekata na postojeću i planiranu saobraćajnu mrežu predstavlja osnovu saobraćajnog planiranja i projektovanja. Jedan od ključnih metodoloških izazova u tom procesu odnosi se na pouzdanu procenu očekivanog generisanog saobraćaja, naročito u uslovima u kojima ne postoje nacionalne, sistematizovane i empirijski zasnovane baze podataka o stopama generisanja kretanja za objekte različitih namena, kao što je slučaj u Republici Srbiji. Stoga se u domaćoj stručnoj praksi planeri najčešće oslanjaju na međunarodnu literaturu, pre svega na preporuke iz ITE Trip Generation Manual-a. Međutim, kroz dugogodišnju praktičnu primenu uočeno je da direktna primena vrednosti generisanog saobraćaja definisanih u okviru ITE metodologije često dovodi do precenjenih rezultata. Razlozi za to ogledaju se prvenstveno u razlikama u vidovnoj raspodeli kretanja, većem učešću putničkih automobila u SAD, drugačijim obrascima mobilnosti stanovništva, kao i specifičnostima urbanog razvoja i korišćenja prostora.

Kako bi se prevazišao navedeni problem, u domaćoj praksi se često primenjuju korektivni faktori kojima se umanjuju vrednosti preporučene ITE metodologijom. Međutim, definisanje i primena ovih faktora uglavnom nisu zasnovani na sistematskim istraživanjima i odgovarajućim analizama koje bi omogućile njihovu validaciju.

U okviru ovog rada prikazani su rezultati pilot istraživanja sprovedenog na teritoriji grada Beograda za tri odabrane namene objekata. Metodološki pristup obuhvata prikupljanje i obradu podataka o realno ostvarenim kretanjima, poređenje sa vrednostima preporučenim u okviru ITE Trip Generation Manual-a, kao i analizu odstupanja i mogućnosti primene korektivnih faktora u lokalnim uslovima.

Rezultati ukazuju na značaj pažljivog izbora međunarodnih parametara i empirijske validacije korektivnih faktora pre njihove upotrebe u domaćoj stručnoj praksi. Rad doprinosi razvoju metodološki utemeljenog pristupa proceni generisanog saobraćaja u Republici Srbiji i pruža osnovu za buduća istraživanja usmerena ka formiranju lokalno prilagođenih baza podataka, unapređenju saobraćajnih studija i pouzdanijem planiranju saobraćajne infrastrukture.

Ključne reči: generisanje saobraćaja, ITE Trip Generation Manual, saobraćajno opterećenje, korektivni faktor, saobraćajna analiza

1 UVOD

Procena saobraćaja koji će generisati i privući novoplanirani objekti predstavlja jedan od osnovnih ulaznih elemenata za izradu saobraćajnih analiza, procenu uticaja izgradnje na postojeću mrežu i dimenzionisanje pristupne infrastrukture. U Republici Srbiji se, usled nedostatka sistematizovane nacionalne baze empirijski utvrđenih stopa generisanja saobraćaja, stručna praksa u značajnoj meri oslanja na publikaciju Trip Generation Manual, Institute of Transportation Engineers. Međutim, neposredna primena ITE stopa u evropskim gradovima, a posebno u Beogradu, može biti ograničena razlikama u stepenu motorizacije, vidovnoj raspodeli, dostupnosti javnog prevoza, parking politici i urbanom kontekstu. U domaćoj praksi se zbog toga primenjuju korektivni faktori, izabrani na osnovu procene i iskustva planera odnosno projektanta, ali izabrane vrednosti nisu empirijski utemeljene i sistematski proverene. U radu su prikazani rezultati sprovedenog pilot istraživanja kojim su ulazni i izlazni tokovi putničkih automobila na šest objekata u Beogradu upoređeni sa odgovarajućim ITE procenama, radi određivanja preliminarnih lokalnih korektivnih koeficijenata prema tri namene objekata.

2 LITERATURNI PREGLED

Procena generisanog saobraćaja predstavlja početnu fazu konvencionalnog četvorostepenog modela saobraćajnog planiranja. Može se sprovoditi makroskopski, na nivou saobraćajnih zona primenom demografskih, socioekonomskih i transportnih pokazatelja, ili mikroskopski, analizom pojedinačnih generatora. U analizama koje se sprovode za pojedinačne objekte i blokove najčešće se koriste stope generisanja saobraćaja iz specijalizovanih priručnika, među kojima je najzastupljeniji ITE Trip Generation Manual.

2.1 ITE Trip Generation Manual

Institute of Transportation Engineers sistematski prikuplja podatke o generisanju putovanja od šezdesetih godina XX veka. Na osnovu prikupljenih podataka razvijen je Trip Generation Manual, koji predstavlja jednu od najčešće korišćenih baza za procenu saobraćaja generisanog različitim namenama prostora. Metodologija se zasniva na konceptu završetka putovanja vozila i povezuje broj putovanja sa merljivim karakteristikama objekta, kao što su bruto razvijena površina, broj stanova, hotelskih soba ili zaposlenih.

Namene su u priručniku razvrstane prema odgovarajućim „Land Use Code“ kategorijama. Za različite namene date su ponderisane prosečne stope generisanja, raspodela na atrakciju i produkciju i regresione funkcije. Pokazatelji su dati za različite vremenske periode, uključujući dnevni saobraćaj, kao i jutarnji i popodnevni vršni period.

Osnovne prednosti ITE metodologije predstavljaju standardizovan postupak i obimna empirijska baza. Međutim, pošto su podaci najvećim delom prikupljeni u SAD i Kanadi, neposredna primena u drugim urbanim uslovima može biti ograničena razlikama u vidovnoj raspodeli, dostupnosti javnog prevoza, urbanističkoj gustini i parking ponudi. Zbog toga je pri primeni ITE pokazatelja potrebno uzeti u obzir lokalne karakteristike.

Za potrebe poređenja sa rezultatima dobijenim na području Beograda, u ovom radu korišćeni su pokazatelji dati u 10. izdanju Trip Generation Manual [1].

2.2 Istraživanja stopa generisanja saobraćaja u Srbiji i regionu

Istraživanja generisanja saobraćaja na prostoru Srbije i zemljama regiona imaju dugu tradiciju, ali su se prvenstveno odnosila na potrebe izrade transportnih modela gradova. Jović i Depolo [2] navode da su u domaćoj praksi primenjivani različiti pristupi, od faktora rasta do regresionih i kategorijskih modela zasnovanih na lokalnim podacima. Razvoj ovih modela pratio je raspoloživost podataka o nameni prostora i socio-ekonomskim karakteristikama stanovništva.

Novija istraživanja više su usmerena na utvrđivanje stopa generisanja za pojedinačne namene. Ilić i Đorić [3] analizirali su generisani saobraćaj za više karakterističnih namena u Loznici, uključujući trgovinske objekte, stambene zone i industrijsku zonu. Dobijene stope upoređene su sa odgovarajućim vrednostima iz ITE priručnika, pri čemu su utvrđene razlike koje autori povezuju sa lokalnim karakteristikama kretanja, položajem objekata i vidovnom raspodelom. Istraživanje je, između ostalog, pokazalo da su u zoni kolektivnog stanovanja u jutarnjem vršnom času zabeležena isključivo izlazna kretanja. Zaključeno je da ITE može predstavljati osnovu za procenu, ali uz prethodnu proveru njegove primenljivosti kroz lokalna istraživanja. Autori takođe ukazuju na potrebu formiranja nacionalne baze stopa generisanja saobraćaja.

Rakić [4] je, na osnovu istraživanja osam tržnih centara u Srbiji i Bosni i Hercegovini, razvio regresioni model za procenu generisanog saobraćaja tržnih centara u gradovima srednje veličine. Kao najznačajniji prediktor izdvojena je bruto površina za iznajmljivanje (GLA), a razvijeni model je dodatno proveren na objektu koji nije korišćen pri njegovom formiranju.

Slični rezultati dobijeni su i u Hrvatskoj. Breški i dr. [5] analizirali su pet tržnih centara u Splitu i izmerene vrednosti uporedili sa procenama dobijenim primenom ITE modela. Rezultati su pokazali da ITE precenjuje generisani saobraćaj, pri čemu su lokalno utvrđene vrednosti, u zavisnosti od posmatranog vršnog perioda, bile približno 30-50% niže od ITE procena. Autori zaključuju da je potrebno razvijati lokalne modele i formirati nacionalnu bazu podataka o generisanju saobraćaja.

Iako su dosadašnja istraživanja u Srbiji i regionu ograničena po broju lokacija i analiziranih namena, njihovi rezultati ukazuju na značaj korišćenja lokalnih podataka i potrebu provere primenljivosti ITE stopa u lokalnim uslovima.

3 METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

3.1 Izbor lokacija i namena objekata

Istraživanje predstavlja pilot analizu generisanog saobraćaja registrovanog na garažnim pristupima objekata različitih namena u Beogradu. Obuhvaćene su tri namene objekata: stanovanje, poslovanje i hotel. Spomenute namene su izabrane jer se razlikuju prema strukturi korisnika, terminu vršnog časa i raspodeli ulaznih i izlaznih tokova.

Za svaku namenu izabrana su po dve lokacije, odnosno ukupno šest objekata, koje su u ovom radu anonimizovane oznakama S1 i S2, P1 i P2, odnosno H1 i H2. Izbor objekata je izvršen na osnovu iskustva autora i poznavanja lokalnih uslova. Odabrani su završeni i useljeni objekti, odnosno u redovnoj upotrebi, sa pripadajućim garažama tj. parking površinama, locirani u centralnom delu Beograda, sa poznatim osnovnim karakteristikama i mogućnošću praćenja svih kolskih pristupa.

Po pitanju kapaciteta za stambene objekte posmatran je broj stanova, koji iznosi 605 za S1 i 703 za S2. Za hotele posmatran je broj soba, koji iznosi 180 za H1 i 302 za H2. Kod poslovnih objekata posmatrana je bruto poslovna površina, koja iznosi 44.200 m² za P1 i 46.300 m² za P2.

Za poređenje sa međunarodnim stopama korišćene su sledeće kategorije iz desetog izdanja ITE Trip Generation Manual: kod 222 - Multifamily Housing (High-Rise) za stambene objekte, kod 310 - Hotel za hotelske objekte i kod 710 - General Office Building za poslovne objekte. Za sve namene primenjene su vrednosti za prostorni kontekst General Urban/Suburban.

3.2 Prikupljanje podataka

Za potrebe analize sprovedeno je terensko istraživanje, tokom tipičnog radnog utorka i redovnog funkcionisanja analiziranih objekata. Brojanje je obuhvatilo sve kolske pristupe, pri čemu su istovremeno evidentirani ulazni i izlazni tokovi.

Saobraćaj je ručno brojen, u kontinualnim intervalima od 15 minuta, tokom jutarnjeg perioda od 07.00 do 10.00 i popodnevno perioda od 15.00 do 18.00 časova. Navedeni periodi izabrani su radi obuhvatanja karakterističnih jutarnjih i popodnevno vršnih časova za izabrane objekte. Nakon brojanja izvršena je kontrola unetih podataka i provera usklađenosti zbira sa podacima sa pojedinačnih pristupa.

Istraživanjem su obuhvaćeni isključivo privatni putnički automobili registrovani na posmatranim pristupima, odnosno nisu analizirana kretanja ostalih učesnika u saobraćaju u zoni analiziranih objekata.

3.3 Obrada i analiza podataka

Po prikupljanju podataka, izvršeno je sabiranje podataka sa svih pristupa i sortirani su prema ulaznim i izlaznim tokovima. Potom su definisani vršni časovi, koji odgovaraju celokupnom satu, odnosno za jutarnji vršni čas odgovara jednom od raspona 07.00-08.00, 08.00-09.00 i 09.00-10.00, a u popodnevno 15.00-16.00, 16.00-17.00 i 17.00-18.00. Za svaki objekat izabran je interval sa najvećim ukupnim brojem ulaznih i izlaznih kretanja. Autori su izabrali da prate ITE metodologiju pa iz tog razloga nije izabran klizni vršni čas, već se čas odnosi na najveći među navedenim fiksnim intervalima. Autori su odlučili da analiziraju dve vrednosti generisanog kretanja, ITE TGM ponderisanu prosečnu vrednost, kao i maksimalnu pojedinačnu vrednost, na ovaj način se dobija prosečna očekivana i maksimalna kritična vrednost.

Za obe metode ulazni podaci su obrađeni na isti način, pri čemu se računaju odvojeno za prepodnevni i popodnevni vršni čas, ali se primenjuju identične formule. Takođe, formule su ponovljene za svaku od tri spomenute namene objekata. U nastavku je prikazan opšti matematički izrazi preko kojih su ostvareni rezultati.

ITE TGM metodologija

Ukupan broj registrovanih kretanja privatnih putničkih automobila za objekat izračunat je kao:

$$U_i = \sum_{q=1}^4 U_{i,q} \quad I_i = \sum_{q=1}^4 I_{i,q} \quad (1)$$

$$V_i = U_i + I_i \quad r_i = \frac{V_i}{x_i} = \frac{U_i + I_i}{x_i} \quad (2)$$

Gde su: $u_{i,q}$ - Broj vozila na ulazu u 15-minutnom intervalu q ; $i_{i,q}$ - Broj vozila na izlazu u 15-minutnom intervalu q ; U_i - Ukupan ulaz u izabranom satu; I_i - Ukupan izlaz u izabranom satu; V_i - Ukupan obim kretanja u vršnom satu; x_i - veličina generatora odnosno broj stanova, soba ili bruto poslovna površina objekta i ; r_i - Stopa generisanja kretanja po jedinici generatora.

U nastavku su prikazane opšte formule za primenu ITE TGM metodologije, odnosno proračun ponderisane srednje stope generisanja saobraćaja:

Zajednička stopa, prema nameni u određenom vršnom satu dobija se deljenjem ukupnog obima kretanja ukupnom veličinom generatora:

$$r_m = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (3)$$

Odnosno:

$$w_i = \frac{x_i}{\sum_{j=1}^n x_j}, \quad r_m = \sum_{i=1}^n w_i r_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\sum_{j=1}^n x_j} \right) r_i \quad (4)$$

Korektivni faktor iznosi:

$$k_m = \frac{r_m}{r_{ITE}} \quad (5)$$

Gde, prema kodu namene iz ITE TGM, za stambenu namenu korišćene su stope r_{ITE} 0,31 u jutarnjem i 0,36 u popodnevnom periodu, a za hotelsku 0,47 i 0,60 po sobi, za poslovnu namenu primenjene su stope 1,16 i 1,15 na 1.000 ft², koje su konvertovane u 0,0125 i 0,0124 kretanja/m².

Radi dodatne sigurnosti i zaokruživanja vrednosti, predlaže se da se finalni faktor zaokruži naviše na korak 0,05.

Metodologija maksimalne stope

Max metodologija zadržava najvišu pojedinačnu stopu i predstavlja najveće očekivano opterećenje koje je istorijski zabeleženo.

Za svaki objekat zadržava se individualna stopa r_i , a zatim se bira najveća stopa u grupi:

$$r_{max} = \max_{1 \leq i \leq n} r_i \quad (6)$$

Odatle korektivni faktor prema maksimalnim vrednostima je:

$$k_{max} = \frac{r_{max}}{r_{ITE}} \quad (7)$$

Radi dodatne sigurnosti i zaokruživanja vrednosti, predlaže se da se finalni faktor zaokruži naviše na korak 0,05.

Prilikom poređenja dobijenih korektivnih faktora, ponderisana stopa mora ležati između najmanje i najveće individualne stope: $\min_{1 \leq i \leq n} r_i \leq r_m \leq r_{max}$.

Pored korektivnih koeficijenata, moguće je odrediti i odstupanje lokalnih od ITE vrednosti, preko sledeće formule:

$$\Delta_{km} = (k_m - 1) * 100\%, \text{ odnosno } \Delta_{kmax} = (k_{max} - 1) * 100\% \quad (8)$$

identično je moguće uraditi i preko:

$$\Delta = \frac{r - r_{ITE}}{r_{ITE}} * 100\% \quad (9)$$

4 REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4.1 Rezultati za pojedinačne namene objekata

Osnovni rezultati terenskog istraživanja prikazani su u Tabeli 1. Za stanovanje stopa je izražena u kretanjima po stanu, za hotele po sobi, a za poslovanje po bruto poslovnoj površini.

Tabela 1: Rezultati empirijskih merenja po lokacijama (Izvor: Autori)

ID	Jed.		AM	AM IN	PM OUT	AM uk	AM stopa	PM	PM IN	PM OUT	PM uk	PM stopa
S1	605	stan	8-9	27	38	65	0.107	15-16	37	32	69	0.114
S2	703	stan	8-9	47	106	153	0.218	17-18	131	61	192	0.273
H1	180	soba	7-8	11	11	22	0.122	16-17	18	29	47	0.261
H2	302	soba	8-9	32	20	52	0.172	16-17	29	49	78	0.258
P1	44200	m ²	9-10	158	5	163	0.004	17-18	3	110	113	0.003
P2	46300	m ²	9-10	192	9	201	0.004	17-18	5	163	168	0.004

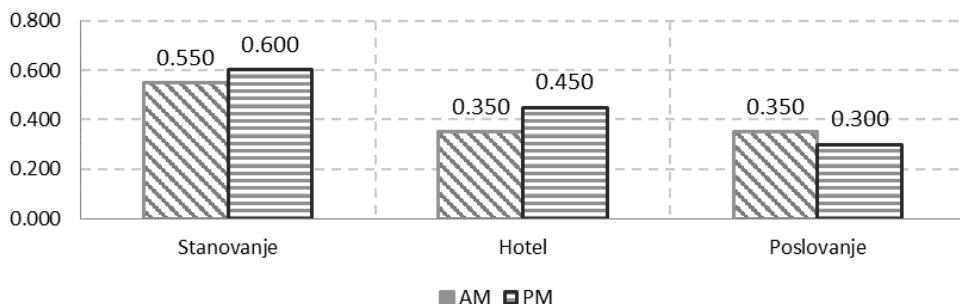
U okviru Tabele 2 prikazane su dobijene stope, korektivni faktori za vrednosti ITE TGM (zaokruženi na 0,05), kao i procentualna odstupanja od ITE TGM koeficijenta.

Tabela 2: Definisanje korektivnog faktora i analiza odstupanja (Izvor: Autori)

Tip	Period	r_{ITE}	r_{M}	k_{M}	Δk_{M}	$r_{ITE_{MAX}}$	$k_{ITE_{MAX}}$	$\Delta k_{ITE_{MAX}}$
S	AM	0,310	0,167	0,55	-46,2%	0,218	0,75	-29,8%
S	PM	0,360	0,200	0,60	-44,6%	0,273	0,80	-24,1%
H	AM	0,470	0,154	0,35	-67,3%	0,172	0,40	-63,4%
H	PM	0,600	0,260	0,45	-56,8%	0,261	0,45	-56,5%
P	AM	0,0125	0,0040	0,35	-67,8%	0,0043	0,35	-65,2%
P	PM	0,0124	0,0031	0,30	-74,9%	0,0036	0,30	-70,7%

Na grafikonu 1, prikazane su dobijene vrednosti korektivnog faktora K_m , koji odgovara metodologiji ITE TGM iskorišćenoj na empirijski dobijenim lokalnim podacima o kretanju.

Zaokruženi korektivni faktori u odnosu na ITE TGM Average Rate prema nameni objekta u zavisnosti od perioda vršnog časa



Grafik 1: Dobijene vrednosti K_m (Izvor: Autori)

Dobijeni rezultati ukazuju da lokalno registrovani saobraćajni zahtevi na pristupima parking prostorima u Beogradu dostižu približno 30-60% odgovarajućih ITE vrednosti, pri čemu se odstupanja značajno razlikuju prema nameni objekta. Najmanja odstupanja utvrđena su kod stanovanja, dok su kod hotelskih i naročito poslovnih objekata lokalne stope znatno niže. Ovakve razlike mogu se povezati sa većim učešćem javnog prevoza i drugih vidova kretanja, nižim stepenom motorizacije u Srbiji u odnosu na SAD, kao i sa ograničenim uzorkom objekata (po nameni $n=2$). Rezultati pokazuju da primena jedinstvenog korektivnog faktora za sve namene nije adekvatna, već postoji potreba primene specifičnih faktora po nameni objekta, približno 0,55-0,60 (max 0,80) za stanovanje, 0,35-0,45 (max 0,45) za hotele i 0,30-0,35 (max 0,35) za poslovanje. Primena univerzalnog faktora, poput 0,70, posebno kod poslovnih objekata može dovesti do značajnog precenjivanja saobraćajnog zahteva i posledično do predimenzionisanja garažne, pristupne i ulične infrastrukture.

5 ZAKLJUČAK I PREPORUKE

Sprovedeno pilot istraživanje, koje je obuhvatilo šest objekata tri različite namene, pokazalo je da su lokalno registrovane stope generisanja saobraćaja na pristupima parking prostorima u Beogradu značajno niže od odgovarajućih ITE TGM vrednosti, pri čemu veličina odstupanja zavisi od namene objekta. Posmatrano u odnosu na dati raspon faktora koji se koriste u ITE TGM, dobijene lokalne stope generisanog saobraćaja kreću se u njegovom donjem opsegu, što ukazuje na neophodnost korišćenja korektivnih faktora za analize u lokalnim uslovima. Rezultati pritom ne podržavaju primenu jedinstvenog korektivnog faktora za sve namene, već ukazuju na preliminarne konzervativne vrednosti od približno 0,60 za stanovanje, 0,45 za hotele i 0,35 za poslovanje.

Dobijene rezultate treba tumačiti uz ograničenja pilot istraživanja, pre svega mali broj analiziranih objekata i ograničen period merenja. Zbog toga utvrđeni faktori ne predstavljaju univerzalne vrednosti za Beograd ili Republiku Srbiju, već polaznu osnovu za dalja istraživanja i formiranje nacionalne baze lokalnih stopa generisanja saobraćaja. Buduća istraživanja treba da obuhvate multimodalna kretanja i statistički opravdan uzorak (min 30) objekata iste namene. Do uspostavljanja takve baze preporučuje se korišćenje ITE metodologije kao polazne osnove, uz sprovođenje analize osetljivosti primenom jedinstvenog korektivnog faktora i lokalno procenjenih korektivnih faktora za specifičnu namenu objekta.

LITERATURA

- [1] Institute of Transportation Engineers (ITE). (2017). Trip generation manual (10th ed.). Institute of Transportation Engineers. Washington, D.C.
- [2] Jović, J., & Depolo, V. (2011). The role of trip generation models in sustainable transportation planning in South-East Europe. *Transport*, Vol. 26, No. 1, pp. 88-95.
- [3] Ilić, N. R., & Đorić, V. D. (2022). Stope generisanog saobraćaja različitih vrsta objekata u urbanoj sredini. *Tehnika-Saobraćaj*, Vol. 69, No. 6, pp. 741-750. DOI:10.5937/tehnika2206741I
- [4] Rakić, M. (2025). Model uticaja tržnih centara na generisanje saobraćajne potražnje. Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka. Novi Sad.
- [5] Breški, D., Maljković, B., & Senjak, M. (2025). Trip generation models for transportation impact

SUMMARY

Trip Generation Estimation for Traffic Analyses in the City of Belgrade: Comparison with ITE Trip Generation Rates

Abstract: Assessing the impact of newly planned developments on the existing and planned transport network represents a fundamental component of transportation planning and design. One of the key methodological challenges in this process is the reliable estimation of expected trip generation, particularly in contexts where national databases of trip generation rates for different land-use types are not available, as is currently the case in the Republic of Serbia. Consequently, transportation planners in domestic professional practice most commonly rely on international sources, particularly the recommendations provided in the ITE Trip Generation Manual. However, long-term practical application has indicated that the direct use of trip generation values defined within the ITE methodology frequently results in overestimated traffic volumes. This can primarily be attributed to differences in modal split, the higher dependence on private passenger vehicles in the United States, differing population mobility patterns, and specific characteristics of urban development and land use.

To address this issue, correction factors are frequently applied in domestic practice to reduce the trip generation values recommended by the ITE methodology. However, the numerical value and application of such factor are generally not based on systematic empirical research or comprehensive analyses that would allow their proper validation.

This paper presents the results of a pilot study conducted in the City of Belgrade for three selected land-use categories. The methodological approach includes the collection and processing of data on observed traffic movements, comparison with the corresponding values recommended by the ITE Trip Generation Manual, and analysis of the identified deviations and the potential application of correction factors under local conditions.

The results highlight the importance of carefully selecting internationally derived parameters and empirically validating correction factors prior to their application in domestic professional practice. The study contributes to the development of a methodologically grounded approach to trip generation estimation in the Republic of Serbia and provides a basis for further research aimed at establishing locally calibrated trip generation databases, improving traffic impact studies, and supporting more reliable transportation infrastructure planning.

Key words: trip generation, ITE Trip Generation Manual, traffic volume, correction factor, traffic analysis

Promene obrazaca mobilnosti tokom životnog ciklusa stanovnika Novog Sada

Andrea Kovačević, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, kovacevicandrea@uns.ac.rs

Valentina Mirović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, plast@uns.ac.rs

Jelena Mitrović Simić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, mjelena@uns.ac.rs

Milica Miličić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, mmilica@uns.ac.rs

Rezime: Socioekonomske karakteristike stanovništva predstavljaju jedan od najznačajnijih faktora koji utiču na svakodnevnu mobilnost i izbor prevoznog sredstva. Tokom života potrebe za putovanjem, učestalost kretanja i preferencije u izboru prevoznog sredstva menjaju se kroz različite životne periode, od školovanja i studiranja, preko radnog veka, do penzionerskog doba. Zbog toga je poznavanje karakteristika mobilnosti različitih starosnih grupa važno za planiranje saobraćajnog sistema i definisanje mera održive mobilnosti. Cilj ovog rada je da ispita na koji način se obrasci mobilnosti stanovnika Novog Sada razlikuju među starosnim grupama i kako se menjaju tokom životnog ciklusa. Analiza je zasnovana na podacima prikupljenim anketom u domaćinstvima na teritoriji grada, a za identifikovanje razlika primenjeni su odgovarajući statistički testovi. Rezultati istraživanja potvrđuju postojanje statistički značajnih razlika u broju putovanja i izboru prevoznog sredstva u zavisnosti od životne dobi. Posebno se izdvaja starosna kategorija srednjoškolaca i studenata, koja u toku dana najčešće kombinuje različite vidove prevoza i, u poređenju sa ostalim grupama, najviše koristi javni prevoz. Rezultati takođe pokazuju da mlađi ispitanici, starosti do 24 godine i stariji od 64 godine češće preferiraju pešačenje, dok je kod ispitanika srednje životne dobi automobil dominantno prevozno sredstvo.

Ključne reči: mobilnost stanovništva, životni ciklus, izbor prevoznog sredstva, Novi Sad

1 UVOD

Nivo mobilnosti, izražen kao prosečan broj putovanja po stanovniku u toku dana, predstavlja jedan od osnovnih pokazatelja obima putovanja na posmatranom području. Iako je u prethodnim decenijama u mnogim urbanim sredinama zabeležen rast prosečne mobilnosti, novija istraživanja ukazuju na postepeno opadanje u pojedinim evropskim državama. Na primer, podaci za London pokazuju da je prosečan broj putovanja po stanovniku dnevno opao sa 2,59 u 2005/06. godini na 1,98 u 2023/24. godini [1]. Sličan trend zabeležen je i u Nemačkoj. Prema nacionalnom istraživanju „Mobility in Germany“ (MiD), prosečna dnevna mobilnost je najpre blago porasla sa 3,3 putovanja po stanovniku u 2002. na 3,4 u 2008. godini, nakon čega se beleži sukcesivan pad na 3,1 u 2017. i 2,9 putovanja u 2023. godini [2]. Za razliku od navedenih primera, Novi Sad beleži porast prosečne dnevne mobilnosti stanovnika, sa 2,50 putovanja po stanovniku u 1987. godini [3] na 2,65 u 2009. godini [4]. Rezultati prikazani u ovom radu pokazuju da je prosečna dnevna mobilnost u Novom Sadu tokom 2017. godine dostigla vrednost od 3,34 putovanja po stanovniku dnevno.

Međutim, prosečan broj putovanja po stanovniku ne prikazuje stvarne obrasce kretanja niti razlike u mobilnosti koje mogu postojati između različitih kategorija stanovnika. Isti nivo prosečne mobilnosti može biti rezultat različitih obrazaca kretanja, u pogledu učestalosti, dužine, trajanja i svrhe putovanja, kao i izbora prevoznog sredstva. Kada je reč o izboru prevoznog sredstva, Buehler ističe da faktori poput dohotka i posedovanja automobila u bogatim i visoko motorizovanim zemljama mogu izgubiti na značaju. Nasuprot njima, faktori kao što su starost, pol, sastav domaćinstva i faza životnog ciklusa, postaju relevantniji prediktori izbora prevoznog sredstva [5]. Istraživanja dodatno ukazuju da se izbor prevoznog sredstva menja tokom životnog ciklusa, pri čemu životni događaji poput preseljenja, završetka školovanja, ulaska na tržište rada i rođenja dece mogu biti povezani sa promenama u načinu putovanja [6,7]. Ove promene odražavaju se i na obrasce mobilnosti različitih starosnih grupa. Na primer, rezultati MiD istraživanja pokazuju da u Nemačkoj, prema podacima iz 2023. godine, javni prevoz beleži najveći udeo kod mladih i studenata, dok automobil dominira u srednjoj životnoj dobi (30-59 godina). Osim toga, primećeno je da studenti pokazuju izrazitu sklonost ka kombinovanju više prevoznih sredstava u toku dana [2]. Slično tome, istraživanje sprovedeno u SAD pokazuje da stariji stanovnici (65 i više godina) ostvaruju manji broj putovanja i prelaze kraće udaljenosti u odnosu na mlađe odrasle osobe (19-64 godine) [8]. Slična zapažanja beleže se i u Melburnu (Australija), gde stanovnici stariji od 60 godina ostvaruju u proseku 30% manje putovanja dnevno, kao i 16% manje vožnji javnim prevozom, u odnosu na mlađu populaciju [9].

Polazeći od ovih nalaza, ovaj rad ispituje razlike u obrascima mobilnosti stanovnika Novog Sada između starosnih grupa, sa posebnim osvrtom na promene koje se javljaju tokom životnog ciklusa.

2 METODOLOGIJA

U okviru ovog poglavlja prikazani su način prikupljanja podataka i karakteristike uzorka, postupak definisanja starosnih grupa, kao i statističke metode primenjene za ispitivanje razlika u mobilnosti između posmatranih starosnih grupa.

2.1 Anketa i uzorak

Za potrebe izrade rada korišćeni su podaci prikupljeni anketom u domaćinstvima tokom oktobra i novembra 2017. godine na teritoriji građevinskog rejona grada Novog Sada i u naselju Veternik. Anketiranje je sprovedeno merodavnim radnim danima (utorak, sreda i četvrtak), tako što je unutar svakog saobraćajnog distrikta izabrana karakteristična zona u kojoj je sprovedena anketa. Uzorkovanje je obuhvatilo 5-6% domaćinstava iz svake izabrane zone, formirajući uzorak od 1.603 domaćinstva sa ukupno 4.173 člana.

Za istraživanje je primenjen polustandardizovani upitnik koji je, pored podataka o putovanjima članova domaćinstva, obuhvatio i podatke o socioekonomskim karakteristikama domaćinstva (broj članova, broj zaposlenih, studenata i đaka, broj vozila u vlasništvu domaćinstva, veličini stana i druge relevantne parametre). Za svakog člana domaćinstva starijeg od šest godina prikupljeni su podaci o polu, godini rođenja, zanimanju, nazivu i adresi radne organizacije ili škole i karakteristikama putovanja. Ispitanici su hronološki unosili osnovne karakteristike svojih putovanja, evidentirajući polaznu tačku putovanja, vreme polaska, korišćeno prevozno sredstvo (uključujući

pešačenje), svrhu, odredište i vreme dolaska. Na ovaj način prikupljeni su podaci za sve članove domaćinstva starije od šest godina, čime je formirana baza od 3.181 ispitanika starijih od šest godina.

2.2 Definisanje starosnih grupa

Uzimajući u obzir podatke o godinama ispitanika, formirano je osam starosnih kategorija: 7-16, 17-24, 25-34, 35-44, 45-54, 55-64, 65-74 i 75 i više godina, sa veličinom uzorka od 246 do 578 ispitanika po kategoriji.

Starosne kategorije formirane su tako da obuhvate različite životne faze ispitanika. Kategorija 1 obuhvata osobe uzrasta od 7 do 16 godina, koje zbog starosti ne mogu posedovati vozačku dozvolu. Kategorija 2 obuhvata osobe uzrasta od 17 do 24 godine, odnosno mlade koji se uglavnom nalaze u periodu srednjoškolskog i fakultetskog obrazovanja i koji su stekli pravo na polaganje vozačkog ispita. Ostale kategorije formirane su u desetogodišnjim intervalima, pri čemu su među starijim ispitanicima izdvojene dve kategorije. Kategorija 7 (65-74 godine) obuhvata osobe starije životne dobi, među kojima su pojedini i dalje radno angažovani, dok kategorija 8 obuhvata osobe starosti 75 i više godina, kod kojih je radna aktivnost manje zastupljena.

2.3 Statističke metode

Rad polazi od pretpostavke da starost, kao demografska karakteristika ispitanika, utiče na obrasce kretanja. Pretpostavlja se da se broj putovanja, izbor prevoznog sredstva i broj različitih korišćenih prevoznih sredstava tokom dana menjaju u zavisnosti od starosti. Za ispitivanje ovog uticaja sprovedena je statistička analiza u softverskom paketu TIBCO Statistica. U analizi su primenjene neparametarske statističke metode, kao što su Spearmanov koeficijent korelacije, hi-kvadrat test nezavisnosti i Kruskal-Wallisov test sa post-hoc testom višestrukog poređenja. Prag statističke značajnosti postavljen je na $\alpha = 5\%$.

3 REZULTATI

U nastavku su prikazani rezultati sprovedene statističke analize, organizovani prema tri ispitivana aspekta: broju putovanja, izboru prevoznog sredstva i broju različitih prevoznih sredstava korišćenih u toku dana.

3.1 Broj putovanja po starosnim grupama

Analiza podataka pokazala je da prosečan broj putovanja anketiranih ispitanika iznosi 3,34 putovanja po stanovniku na dan, odnosno ukupno je realizovano 10.622 putovanja. Najveći broj putovanja beleži se u kategorijama 25-34 godine (3,61), 17-24 godine (3,55) i 35-44 godine (3,55), dok se od 45. godine života uočava tendencija smanjenja broja putovanja, sa najnižom vrednošću kod osoba starijih od 75 godina (2,57).

Za procenu uticaja broja godina na broj putovanja primenjen je Spearmanov koeficijent korelacije. Analizom je utvrđena veoma slaba, ali statistički značajna negativna korelacija ($p = -0,095$; $p < 0,05$; $N = 3.181$). Negativan predznak potvrđuje teorijska očekivanja da sa porastom starosti dolazi do blagog pada u broju kretanja. Međutim, s obzirom na to da starost u ovom slučaju objašnjava svega 0,9% varijanse broja kretanja, zaključuje se da hronološka starost pojedinca nema praktičnu prediktivnu moć, ukoliko bi

samostalno figurisala u modelu. Generisanje kretanja u posmatranom uzorku primarno je uslovljeno drugim socio-ekonomskim faktorima, dok se starost može posmatrati kao kontrolni faktor u modelima.

Dodatno, Kruskal-Wallisovim ANOVA testom ispitano je da li postoje statistički značajne razlike u broju putovanja između starosnih kategorija. Rezultati testa pokazali su da je p-vrednost manja od definisanog praga značajnosti ($p < 0,05$), što ukazuje na postojanje statistički značajnih razlika. Naknadnim post-hoc testom višestrukog poređenja utvrđeno je da se kategorija 1 statistički značajno razlikuje od kategorija 2, 3 i 4, dok razlike u odnosu na kategorije 5, 6, 7 i 8 nisu statistički značajne. Kategorije 2, 3 i 4 međusobno se ne razlikuju statistički značajno, ali se sve tri značajno razlikuju od kategorija 7 i 8. Kategorija 8 (75 i više godina) statistički se značajno razlikuje od svih ostalih kategorija, izuzev kategorije 1.

3.2 Izbor prevoznog sredstva po starosnim grupama

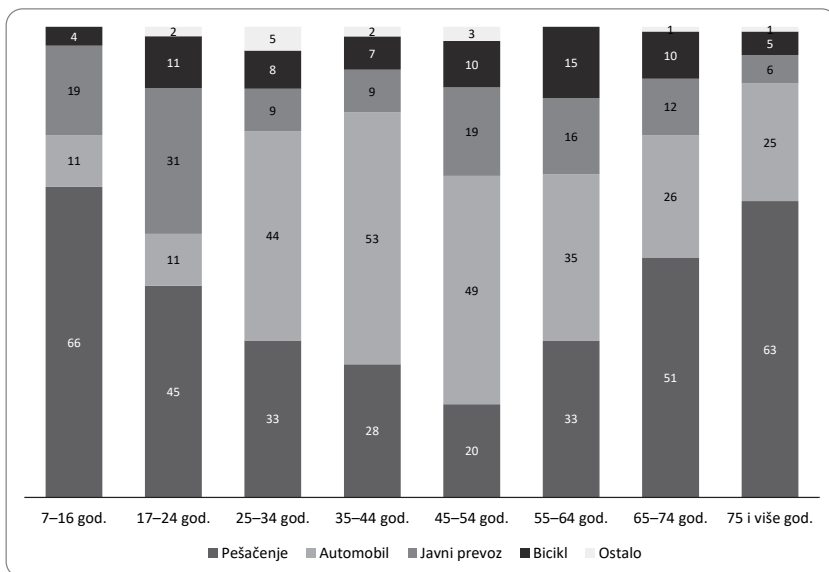
Za analizu uticaja starosti na izbor prevoznog sredstva, za svakog ispitanika definisano je dominantno prevozno sredstvo, odnosno sredstvo koje je najčešće korišćeno prilikom ostvarenih putovanja. Na primer, ukoliko je ispitanik ostvario tri putovanja u toku dana, od kojih je dva puta koristio automobil, a jednom javni prevoz, automobil je definisan kao njegovo dominantno prevozno sredstvo. Prilikom analize posmatrane su sledeće kategorije prevoznih sredstava: pešačenje, bicikl, automobil, javni prevoz i ostalo, pri čemu kategorija automobil obuhvata korišćenje automobila u svojstvu vozača i putnika.

Od ukupnog broja ispitanika, dominantno prevozno sredstvo nije bilo moguće odrediti kod 714 ispitanika (22,45%), od čega 152 ispitanika nisu ostvarila ni jedno putovanje, a preostali ispitanici podjednako koriste dva ili više prevoznih sredstava u toku dana. Zbog toga su navedene osobe isključene iz dalje analize, koja je sprovedena na uzorku od 2.467 ispitanika.

Za ispitivanje uticaja starosne kategorije na izbor prevoznog sredstva korišćen je hi-kvadrat test nezavisnosti. Rezultati testa ($\chi^2 = 442,28$; $df = 28$; $p < 0,001$) ukazuju na postojanje statistički značajne veze između starosne kategorije ispitanika i izabranog prevoznog sredstva. Na narednom grafiku prikazan je procenat ispitanika po dominantnom prevoznom sredstvu za svaku starosnu kategoriju.

Rezultati pokazuju da se pešačenje kao dominantan vid prevoza izdvaja kod mladih, starosti 7-24 godine i starijih ispitanika (starosti 65 i više godina), dok njegov udeo naglo opada u srednjoj životnoj dobi, dostižući minimum u starosnoj kategoriji 45-54 godine (20%). Automobil je kao dominantno prevozno sredstvo zastupljen sa svega 11% kod ispitanika starosti 7-16 godina, pri čemu se u ovoj starosnoj kategoriji koristi isključivo u svojstvu putnika, dok svoj vrhunac beleži u starosnoj kategoriji 35-44 godine (53%), nakon čega postepeno opada do 25% kod najstarijih. Ovakvi rezultati pokazuju da je automobil kao dominantno prevozno sredstvo najzastupljeniji tokom srednje životne dobi. Sa starenjem se udeo automobila postepeno smanjuje, a značaj pešačenja ponovo raste.

Javni prevoz beleži najveći udeo kod mladih ispitanika uzrasta 17-24 godine (31%), nakon čega se njegov udeo smanjuje i ostaje relativno nizak u starijim starosnim kategorijama. Udeo bicikala pokazuje blage varijacije između starosnih grupa, sa najvećim udelom od 15% u kategoriji 55-64 godine, nakon čega opada na 10% kod ispitanika starosti 65-74 godine i 5% kod najstarijih ispitanika.



Grafik 1: Udeo ispitanika u zavisnosti od dominantnog prevoznog sredstva i starosnih kategorija

3.3 Broj različitih prevoznih sredstava po starosnim grupama

Za analizu uticaja starosti na broj različitih prevoznih sredstava korišćenih tokom dana, primenjen je Kruskal-Wallis ANOVA test. Na osnovu dobijenih rezultata ANOVA testa ($H = 74,77$, $p < 0,001$) može se doneti zaključak da postoji statistički značajna razlika u broju korišćenih prevoznih sredstava između različitih starosnih kategorija. Naknadnim post-hoc testom višestrukog poređenja srednjih rangova utvrđeno je da se prosečan broj korišćenih prevoznih sredstava u okviru starosne kategorije 2 statistički značajno razlikuje od svih ostalih starosnih kategorija ($p < 0,05$), dok između ostalih kategorija ne postoje statistički značajne razlike. Ispitanici kategorije 2 prosečno koriste 1,67 različitih prevoznih sredstava u toku dana ($SD = 0,73$), dok je u ostalim kategorijama prosečan broj manji od 1,50. Na primer, kategorije 3 (25-34 godine) i 4 (35-44 godine) prosečno koriste 1,44 različitih prevoznih sredstava tokom dana.

4 ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja potvrđuju da starost, kao demografska karakteristika stanovnika Novog Sada, ima statistički značajan uticaj na broj putovanja, izbor prevoznog sredstva i broj različitih prevoznih sredstava korišćenih u toku dana. Najstariji ispitanici, starosti 75 i više godina, ostvaruju najmanji prosečan broj putovanja tokom dana (2,57), dok je najveći prosečan broj putovanja zabeležen kod ispitanika starosti 25-34 godine (3,61). U pogledu izbora prevoznog sredstva, pešačenje je dominantno kod ispitanika mlađih od 25 godina i starijih od 64 godine, dok automobil predstavlja dominantno prevozno sredstvo u srednjoj životnoj dobi, sa najvećom zastupljenošću od 53% u kategoriji 35-44 godine. Ispitanici uzrasta 17-24 godine izdvajaju se i po većoj sklonosti ka kombinovanju različitih prevoznih sredstava tokom dana (prosečno 1,67), kao i po najvećem udelu korišćenja javnog prevoza (31%). Poređenje rezultata sa prethodnim istraživanjima sprovedenim u

Nemačkoj, SAD i Australiji pokazuje da se obrasci uočeni u Novom Sadu u velikoj meri podudaraju sa širim trendovima promene mobilnosti tokom životnog ciklusa [2,8,9].

Utvrđene razlike u obrascima kretanja pokazuju da potrebe korisnika nisu jednake u svim fazama životnog ciklusa. U tom smislu, rezultati ukazuju na značaj planiranja saobraćaja usmerenog ka pristupačnost i inkluzivnosti, koje uzima u obzir različite potrebe i mogućnosti kretanja stanovništva u različitim životnim dobima. Veće oslanjanje mlađih i starijih stanovnika na pešačenje ukazuje na potrebu za bezbednom, kontinuiranom i pristupačnom pešačkom infrastrukturom. Dodatno, pešačka infrastruktura ima poseban značaj za starije stanovništvo, kod kojeg nakon 64. godine udeo putovanja automobilom značajno opada, dok pešačenje ponovo postaje dominantan vid kretanja. Zbog toga nedostaci u kvalitetu i kontinuitetu pešačke infrastrukture mogu imati direktan uticaj na njihove mogućnosti svakodnevnog kretanja.

Istovremeno, veće korišćenje javnog prevoza kod mlađih ispitanika ukazuje na značaj dobre pokrivenosti grada mrežom linija i odgovarajuće učestalosti polazaka. Sa druge strane, visoka zastupljenost automobila u srednjoj životnoj dobi ukazuje na prostor za primenu mera upravljanja saobraćajnom potražnjom kojima bi se podstaklo veće korišćenje održivih vidova prevoza.

ZAHVALNICA

Rezultati prikazani u ovom radu deo su istraživanja u okviru projekta „Istraživanje trendova u razvoju održivih saobraćajnih i logističkih sistema“, koji je osnovan od strane Departmana za saobraćaj, Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Republika Srbija.

LITERATURA

- [1] Transport for London. (2024). Travel in London 2024: Annual overview. UK.
- [2] infas, DLR, IVT und infas 360. (2025). Mobilität in Deutschland - MiD Ergebnisbericht. Germany.
- [3] Vračarević, V., Basarić, V. (2015). Metode istraživanja indikatora u saobraćaju: Skripta. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu.
- [4] JP „Urbanizam“. (2009). Saobraćajna studija grada Novog Sada sa dinamikom uređenja saobraćaja - NOSTRAM. Novi Sad.
- [5] Buehler, R. (2011). Determinants of transport mode choice: a comparison of Germany and the USA. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 644-657.
- [6] Scheiner, J. (2014). Gendered key events in the life course: effects on changes in travel mode choice over time. *Journal of Transport Geography*, 37, 47-60.
- [7] Whittle, C., Whitmarsh, L., Nash, N., & Poortinga, W. (2022). Life events and their association with changes in the frequency of transport use in a large UK sample. *Travel Behaviour and Society*, 28, 273-287.
- [8] Colia, D. V., Sharp, J., & Giesbrecht, L. (2003). The 2001 national household travel survey: A look into the travel patterns of older Americans. *Journal of Safety Research*, 34(4), 461-470.
- [9] Currie, G., & Delbosc, A. (2010). Exploring public transport usage trends in an ageing population. *Transportation*, 37(1), 151-164.

Changes in Mobility Patterns over the Life Course of Novi Sad Residents

Abstract: Socioeconomic characteristics of the population represent one of the most important factors influencing daily mobility and travel mode choice. Throughout the life course, travel needs, trip frequency, and preferences regarding the choice of transport mode change across different life stages, from schooling and university education, through the working-age period, to retirement. Therefore, understanding the mobility characteristics of different age groups is important for transport system planning and the development of sustainable mobility measures. The aim of this study is to examine how the mobility patterns of Novi Sad residents differ across age groups and how they change over the life course. The analysis is based on data collected through a household survey conducted within the city, while appropriate statistical tests were applied to identify differences. The results confirm the existence of statistically significant differences in the number of trips and transport mode choice depending on age. The group of high school and university students stands out in particular, as they most frequently combine different transport modes during the day and, compared with other groups, make the greatest use of public transport. The results also show that younger respondents aged up to 24 and older respondents aged 65 and over are more likely to travel by walking, whereas the automobile is the dominant transport mode among respondents in the middle stages of the life course.

Key words: population mobility, life course, transport mode choice, Novi Sad

Analiza isplativosti ulaganja u projekte zelene mobilnosti: Primer slučaja biciklističke staze Užice-Sevojno

Vanja Žigić, Saobraćajni fakultet, Beograd, vanjazigic1@gmail.com

Draženko Glavić, Saobraćajni fakultet, Beograd, drazen@sf.bg.ac.rs

Marina Milenković, Saobraćajni fakultet, Beograd, marina.milenkovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Sve veća zavisnost od putničkih automobila ukazuje na potrebu za razvojem alternativnih vidova prevoza. Biciklističke staze duž rečnih koridora najčešće se posmatraju kao infrastruktura namenjena rekreaciji i turizmu. Međutim, kada povezuju naseljena mesta između kojih postoji značajan obim dnevnih migracija, njihov značaj za svakodnevna putovanja stanovništva postaje posebno izražen. U tom kontekstu, predmet ovog rada je analiza ekonomske opravdanosti izgradnje biciklističke staze duž reke Đetinje na relaciji Užice–Sevojno. Specifičnost projekta ogleda se u povezivanju dve urbane sredine trasom duž reke. Ekonomska opravdanost projekta ocenjena je analizom troškova i koristi, uzimajući u obzir svakodnevna putovanja na relaciji Užice–Sevojno, za dva scenarija modalnog prelaska sa putničkog automobila na bicikl, pri stopama od 5% i 10%. Pored ocene opravdanosti za analizirane scenarije, analizom osetljivosti utvrđena je i granična stopa modalnog prelaska pri kojoj projekat dostiže prag ekonomske opravdanosti. Doprinos rada ogleda se u sagledavanju biciklističke infrastrukture kao dela transportnog sistema, umesto njenog uobičajenog posmatranja prvenstveno kroz rekreativnu i turističku namenu. Rezultati istraživanja mogu doprineti donošenju odluka o ulaganjima u biciklističku infrastrukturu i druge projekte zelene mobilnosti koji imaju značajnu transportnu funkciju.

Ključne reči: biciklistička infrastruktura, analiza troškova i koristi, održiva mobilnost

1. UVOD

Biciklistička infrastruktura može imati različite funkcije, uključujući rekreativnu, turističku i transportnu, pri čemu njen doprinos realizaciji putovanja u transportne svrhe, a posebno svakodnevnih putovanja, zavisi od karakteristika same infrastrukture, područja koje povezuje i obrazaca mobilnosti stanovništva. Dosadašnja istraživanja uticaja biciklističke infrastrukture na izbor bicikla kao prevoznog sredstva uglavnom su usmerena na urbana područja [1],[2], dok su koridori koji povezuju prostorno razdvojena naselja znatno ređe analizirani [3]. Takođe, biciklističke staze duž rečnih i drugih zelenih koridora češće se povezuju sa rekreativnom i turističkom upotrebom, dok je njihova transportna funkcija manje zastupljena [4].

Predmet ove analize je planirana biciklistička staza na relaciji Užice–Sevojno, za koju je u okviru projekta BioRider izrađeno konceptualno rešenje [5]. Specifičnost projekta ogleda se u tome što bi planirana biciklistička staza povezivala dva naselja između kojih postoji značajan obim svakodnevnih putovanja, a istovremeno bi se pružala duž reke Đetinje, najvećim delom koridorom nekadašnje Ćirine pruge, kao fizički odvojena infrastruktura namenjena biciklističkom saobraćaju. Povezivanje Užica i Sevojna, uz fizičku

odvojenost staze od motornog saobraćaja, omogućava da se, pored rekreativne i turističke funkcije, razmatra i njen potencijal za realizaciju svakodnevnih putovanja.

Postojeću vezu između Užica i Sevojna čini dvotračni državni put IB-23. Prema zvaničnim podacima za deonicu državnog puta kojoj pripada analizirani potez, PGDS iznosi 15.521 vozilo dnevno, što ukazuje na izražen intenzitet motornog saobraćaja i nepovoljne uslove za vožnju bicikla. Istovremeno, između ova dva naselja svakodnevno putuje oko 1.500 stanovnika, na rastojanju od približno 5 km, koje se nalazi u opsegu u kojem bicikl može predstavljati konkurentnu alternativu putničkom automobilu [6].

Cilj rada je da se utvrdi da li bi i pri kojim nivoima prelaska korisnika sa putničkog automobila na bicikl projekat izgradnje biciklističke staze Užice–Sevojno mogao biti ekonomski opravdan, uzimajući u obzir samo svakodnevna putovanja. U radu su analizirana dva scenarija, pri kojima bi 5%, odnosno 10% korisnika koji svakodnevna putovanja između Užica i Sevojna trenutno ostvaruju putničkim automobilom prešlo na korišćenje bicikla, dok je analizom osetljivosti utvrđena i granična stopa modalnog prelaska pri kojoj projekat dostiže prag ekonomske opravdanosti. Imajući u vidu da u Srbiji ne postoji jedinstvena metodologija za analizu troškova i koristi biciklističkih projekata [7], doprinos rada ogleda se u primeni metodološkog pristupa za ekonomsko vrednovanje ulaganja u biciklističku infrastrukturu, kroz identifikaciju, kvantifikovanje i monetizaciju relevantnih troškova i koristi povezanih sa njenom transportnom funkcijom.

2. METODOLOGIJA

2.1. Okvir analize

Ekonomska opravdanost investicije utvrđuje se poređenjem mreže bez investicije i mreže sa investicijom, odnosno sa izgrađenom biciklističkom infrastrukturom. U analizi se vrednuju efekti prelaska dela korisnika sa putničkog automobila na bicikl, dok se uticaj smanjenog opterećenja na korisnike koji ostaju u motorizovanom toku zanemaruje. Ovakva pretpostavka usvojena je imajući u vidu da je očekivano smanjenje broja vozila relativno malo u odnosu na ukupan saobraćajni tok, pa se ne očekuje značajnija promena brzine i uslova odvijanja saobraćaja.

U analizi se vrednuju zdravstvene koristi fizičke aktivnosti, troškovi korišćenja i održavanja bicikla, promena vremena putovanja, troškovi eksploatacije vozila, ekološki troškovi, troškovi održavanja puta i troškovi saobraćajnih nezgoda. Troškovi izgradnje i održavanja biciklističke staze predstavljaju infrastrukturne troškove projekta.

Analiza obuhvata period gradnje od dve godine (2026–2027), sa ravnomerno raspoređenom investicijom, i dvadeset godina eksploatacije (2028–2047). Novčani tokovi su iskazani u stalnim cenama i svedeni na 2028. godinu primenom društvene diskontne stope od 5%, uz rezidualnu vrednost staze usvojenu kao nula. Primarni kriterijum ekonomske opravdanosti je neto sadašnja vrednost, dok se odnos koristi i troškova, interna stopa rentabiliteta i diskontovani period povraćaja koriste kao dopunski pokazatelji.

2.2. Definisanje relevantne tražnje

Pri utvrđivanju potencijalnog prelaska sa putničkog automobila na bicikl posmatrana su svakodnevna lokalna putovanja između Užica i Sevojna. Planirana biciklistička staza predstavlja alternativu za približno 5 km analizirane deonice, dok značajan deo ukupnog

saobraćaja čine tranzitna kretanja koja nemaju realan potencijal za prelazak na bicikl. Zbog toga se procena smanjenja broja putničkih automobila ne zasniva na ukupnom PGDS-u, već na broju svakodnevnih korisnika putničkog automobila između Užica i Sevojna. Za ovu grupu korisnika analizirani su scenariji prelaska na bicikl od 5% i 10%.

Na osnovu dostupnih podataka procenjuje se da između Užica i Sevojna svakodnevno putuje oko 1.500 stanovnika, pri čemu oko 80% koristi putnički automobil, a oko 20% autobus. Prelazak pojedinačnih korisnika autobusa na bicikl ne bi nužno doveo do smanjenja broja autobuskih polazaka, pa njihovo potencijalno preusmeravanje na bicikl nije uključeno u dalji proračun. Analiza se zato zasniva na 1.200 korisnika putničkog automobila. Pri stopama modalnog prelaska od 5% i 10%, broj korisnika putničkog automobila koji bi prešli na bicikl iznosio bi 60, odnosno 120, redom. Uz dva putovanja po korisniku dnevno i prosečnu popunjenost putničkog automobila od 1,3 putnika po vozilu, to odgovara smanjenju od približno 92 i 185 putovanja putničkim automobilom dnevno u oba smera, za scenarije od 5% i 10%, redom.

Pretpostavljeno je da korisnici koji prelaze na bicikl prelaze celu analiziranu deonicu dužine 5 km, s obzirom na to da su izvorišta i odredišta putovanja koncentrisana u dva naselja. Broj dana korišćenja bicikla usvojen je na 168 godišnje [8]. Ovaj broj dana dosledno je primenjen pri obračunu godišnjih efekata modalnog prelaska.

2.3. Obuhvaćene stavke i jedinične vrednosti

U narednoj tabeli predstavljene su jedinične vrednosti koje su se koristile u proračunu, kao i izvori pomenutih vrednosti.

Tabela 1. Jedinične vrednosti korišćene u proračunu

Stavka	Vrednost	Izvor
Cena gradnje staze	180.000 €/km	Planska dokumentacija
Održavanje staze	2% investicije (3.600 €/km/god)	Usvojeno
Nezgodna sa poginulim licem	3.273.909 €	[9]
Nezgodna sa lako / teško povređenim licem	38.514 € / 498.591 €	[9]
Nezgodna sa materijalnom štetom	3.960 €	[10]
Popunjenost putničkog vozila	1,3 put/voz	Usvojeno
Eksploatacija vozila (PA, 66 km/h)	19,65 €ct/voz-km	[11]
Ekološki troškovi (PA, ukupno)	0,39 €ct/voz-km	[12]
Brzina bicikla	14 km/h	[13]
Brzina putničkog automobila	66 km/h	Proračun nivoa usluge
Stopa mortaliteta, uzrast 20–64	0,00367	[14]
Korišćenje i održavanje bicikla	0,02 €/bicikl-km	[7]
Vrednost statističkog života	2.100.000 €	[15]

Očekivani broj saobraćajnih nezgoda na vangradskoj deonici dvotračnog puta utvrđen je primenom modela za predikciju saobraćajnih nezgoda na dvotračnim vangradskim putevima prema priručniku Highway Safety Manual [16]:

$$N = PGDS \cdot L \cdot 365 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-0,312} \cdot CMF_1 \cdot CMF_2 \cdot CMF_3 \cdot C \quad (1)$$

gde je N očekivani godišnji broj nezgoda, L dužina deonice u miljama, CMF korekcionni faktori za geometrijske karakteristike puta, a C lokalni kalibracioni faktor.

Zbog nedostatka lokalne kalibracije usvojeno je $C = 1,00$, što je razmatrano u analizi osetljivosti. Vrednosti korišćenih jediničnih troškova nezgoda prema težini posledica prikazane su u Tabeli 1. Troškovi nezgoda korisnika koji prelaze na bicikl nisu posebno vrednovani, jer se njihov rizik pri korišćenju fizički odvojene vangradske biciklističke staze ne može pouzdano proceniti jer se nezgode biciklista sa lakšim posledicama i bez učešća motornog vozila često ne evidentiraj [17].

Promena troškova vremena putovanja za korisnike koji prelaze sa putničkog automobila na bicikl određena je na osnovu razlike u vremenu putovanja između ova dva vida prevoza:

$$\Delta Ct = N \cdot 2 \cdot D \cdot L \cdot (1/V_b - 1/V_a) \cdot ct \quad (2)$$

gde je ΔCt godišnja promena troškova vremena putovanja (€/god), N broj korisnika putničkog automobila koji prelaze na bicikl, D broj dana korišćenja bicikla godišnje, L dužina putovanja (km), V_b prosečna brzina bicikla (km/h), V_a prosečna brzina putničkog automobila (km/h), a ct ponderisana jedinična vrednost vremena putovanja po svrsi putovanja (€/putnik-h).

Promena vremena putovanja vrednuje se kao razlika između vremena putovanja biciklom i putničkim automobilom, na osnovu usvojenih brzina prikazanih u Tabeli 1. U analiziranim scenarijima ovaj efekat je negativan, odnosno predstavlja trošak.

Zdravstvena korist vrednovana je primenom metodologije HEAT (Health Economic Assessment Tool) Svetske zdravstvene organizacije [13], razvijene za ekonomsko vrednovanje efekata bicikliranja i hodanja u analizama troškova i koristi. Metodologija propisuje i oblik veze između obima fizičke aktivnosti i smanjenja rizika od prevremenog smrtnog ishoda i vrednosti parametara te veze. Pri referentnom obimu vožnje od 100 minuta nedeljno relativni rizik iznosi 0,90, odnosno smanjenje rizika 10%. Za obime različite od referentnog metodologija propisuje linearnu interpolaciju:

$$\Delta R = (1 - RR) \cdot V / V_{ref} \quad (3)$$

gde je ΔR smanjenje rizika od prevremenog smrtnog ishoda, RR relativni rizik pri referentnom obimu vožnje (0,90), V ostvareni nedeljni obim vožnje (min/ned), a V_{ref} referentni obim vožnje (100 min/ned).

HEAT ograničava maksimalno smanjenje rizika na 45%, pri čemu ova granica u analiziranim scenarijima nije dostignuta. Na osnovu dužine putovanja, broja dnevnih putovanja, usvojene brzine bicikla i usvojenog broja dana korišćenja, nedeljni obim vožnje iznosi 138,5 min, što prema HEAT metodologiji odgovara smanjenju rizika od prevremenog smrtnog ishoda od 13,8%. Broj izbegnutih prevremenih smrtnih ishoda određuje se na osnovu broja korisnika, stope mortaliteta za uzrast 20–64 godine i izračunatog smanjenja rizika, a monetizuje primenom vrednosti statističkog života. Zdravstveni efekat uvodi se postepeno tokom prvih pet godina eksploatacije, u skladu sa HEAT metodologijom.

Troškovi eksploatacije vozila, koji obuhvataju gorivo, gume, održavanje i amortizaciju, utvrđeni su prema modelu CBA6 [11], primenom jediničnih troškova po vozilo-kilometru za usvojenu brzinu kretanja. Promena ukupnih troškova rezultat je smanjenja transportnog rada putničkih automobila usled prelaska dela korisnika na bicikl.

Ekološki troškovi zagađenja vazduha, buke i klimatskih promena vrednovani su prema European Commission [12], primenom jediničnih troškova po vozilo-kilometru, uzimajući u obzir tip puta i strukturu voznog parka prema vrsti goriva. Smanjenje ovih troškova

proizlazi iz smanjenja transportnog rada putničkih automobila usled prelaska dela korisnika na bicikl.

Troškovi održavanja puta obuhvataju redovno, zimsko i periodično održavanje, pri čemu promena troškova proizlazi samo iz smanjenja saobraćajnog opterećenja, odnosno PGDS-a.

2.4. Analiza osetljivosti

Analiza osetljivosti sprovedena je promenom pojedinačnih ulaznih parametara, uz nepromenjene vrednosti ostalih parametara i pretpostavki. Dodatno je sprovedena kombinovana analiza sa istovremenom primenom nepovoljnih vrednosti više parametara, kao i proračun graničnih vrednosti pri kojima neto sadašnja vrednost postaje jednaka nuli.

3. REZULTATI

U Tabeli 2. prikazani su pokazatelji ekonomske opravdanosti za oba scenarija prelaska, pri diskontnoj stopi od 5% i periodu eksploatacije od dvadeset godina.

Tabela 2. Pokazatelji ekonomske opravdanosti

Pokazatelj	Scenario 1 (5%)	Scenario 2 (10%)
Neto sadašnja vrednost	-138.430 €	927.300 €
Odnos koristi i troškova	0,89	1,73
Interna stopa rentabiliteta	3,6%	12,2%
Diskontovani period povraćaja	Nije ostvaren	10 godina (2037)

Kao što je prikazano u Tabeli 2, prvi scenario ne dostiže prag ekonomske opravdanosti, dok je drugi scenario ekonomski opravdan. Opravdanost drugog scenarija zadržava se i pri promeni društvene diskontne stope od 4% do 7%.

Tabela 3. Sadašnja vrednost koristi po kategorijama, scenario 1 i scenario 2

Kategorija	Scenario 1 (5%)	Scenario 2 (10%)	Udeo u ukupnim pozitivnim koristima (%)
Zdravstvene koristi	992.416 €	1.984.831 €	65,0
Uštede u troškovima eksploatacije vozila	267.405 €	534.811 €	17,5
Uštede u troškovima saobraćajnih nezgoda	261.581 €	523.161 €	17,1
Ekološke koristi	5.339 €	10.678 €	0,3
Uštede u troškovima održavanja puta	576 €	1.151 €	<0,1
Ukupne pozitivne koristi	1.527.316 €	3.054.633 €	100
Vreme putovanja – negativan efekat	-426.072 €	-852.144 €	–
Ukupne koristi	1.101.244 €	2.202.489 €	–
Ukupni troškovi	1.239.675 €	1.275.189 €	–

Zdravstvene koristi predstavljaju dominantnu komponentu pozitivnih koristi. Uštede u troškovima eksploatacije vozila i saobraćajnih nezgoda u značajnoj meri poništava

negativan efekat dužeg vremena putovanja biciklom, dok su ekološke koristi i uštede u održavanju puta marginalne.

Granična stopa modalnog prelaska pri kojoj projekat dostiže prag ekonomske opravdanosti iznosi 5,65%, što odgovara približno 68 korisnika putničkog automobila koji bi prešli na bicikl. Prvi scenario nalazi se neposredno ispod ovog praga, a drugi iznad njega. Za ostale parametre granične vrednosti određene su pri stopi modalnog prelaska od 10%, odnosno u uslovima drugog scenarija. Projekat dostiže prag opravdanosti pri ceni izgradnje do 318.600 €/km i pri najmanje 95 dana korišćenja staze godišnje.

4. ZAKLJUČAK

Sprovedena analiza pokazuje da se ekonomski efekti planirane biciklističke staze na relaciji Užice–Sevojno, u okviru razmatranih svakodnevnih lokalnih putovanja, dominantno zasnivaju na zdravstvenim koristima redovnog bicikliranja. Koristi povezane sa smanjenjem transportnog rada putničkih automobila znatno su manje, dok duže vreme putovanja biciklom umanjuje deo ostvarenih koristi. Po tome se struktura koristi razlikuje od projekata putne infrastrukture, kod kojih značajan deo monetizovanih koristi potiče od ušteda vremena, troškova eksploatacije vozila i saobraćajnih nezgoda. Ovakva struktura koristi nije neuobičajena za projekte biciklističke infrastrukture. Sælensminde [16] pokazuje da zdravstvene koristi mogu činiti između jedne polovine i dve trećine ukupnih koristi.

Dominacija zdravstvenih koristi ne dovodi u pitanje transportni karakter analiziranih efekata, budući da su u proračun uključena isključivo svakodnevna putovanja koja se sa putničkog automobila preusmeravaju na bicikl, dok rekreativna i turistička putovanja nisu obuhvaćena. Zdravstvene koristi u ovom slučaju predstavljaju jedan od efekata upravo takvih transportnih putovanja. Ekonomska opravdanost projekta pritom u velikoj meri zavisi od obima i učestalosti korišćenja staze.

Pri modalnom prelasku od 5% projekat ne dostiže prag ekonomske opravdanosti, dok je pri prelasku od 10% ekonomski opravdan. Granična stopa modalnog prelaska iznosi 5,65% svakodnevnih korisnika putničkog automobila na relaciji Užice–Sevojno, odnosno 68 korisnika koji bi prešli na korišćenje bicikla. Rezultati pokazuju da transportna funkcija staze, posmatrana samo kroz svakodnevna lokalna putovanja, može biti dovoljna za dostizanje praga ekonomske opravdanosti ukoliko se ostvari odgovarajući nivo modalnog prelaska.

Brown i saradnici [18] ukazuju na širok raspon odnosa koristi i troškova u ekonomskim analizama projekata aktivnog transporta, pri čemu se vrednost dobijena za ekonomski opravdan scenario u ovom radu nalazi u nižem delu pozitivnih vrednosti zabeleženih u pregledanim studijama. Neposredno poređenje je, međutim, ograničeno razlikama u metodološkim pristupima i obuhvatu koristi, posebno činjenicom da je u ovom radu izdvojen doprinos transportne funkcije staze kroz svakodnevna lokalna putovanja, bez njenog mogućeg rekreativnog i turističkog korišćenja.

Ograničenja analize odnose se prvenstveno na primenu modela saobraćajnih nezgoda bez lokalne kalibracije, kao i na oslanjanje na inostrane izvore za pojedine metodološke pretpostavke i jedinične vrednosti, što je posledica nedostatka odgovarajućih domaćih podataka i jedinstvene nacionalne metodologije za ekonomsko vrednovanje biciklističkih

projekata. Potencijalni modalni prelazak takođe nije empirijski utvrđen, već je analiziran kroz scenarije.

Dalja istraživanja trebalo bi stoga trebalo usmeriti na utvrđivanje lokalno relevantnih vrednosti parametara za koje su u ovom radu korišćeni inostrani izvori, kao i na empirijsku procenu potencijalnog korišćenja planirane staze. Posebno je važno ispitati spremnost stanovnika Užica i Sevojna da za svakodnevna putovanja pređu sa putničkog automobila na bicikl i na taj način proveriti ostvarivost utvrđene granične stope modalnog prelaska. Procenu potencijalne tražnje trebalo bi proširiti i na putovanja u druge svrhe, kao i na rekreativna i turistička putovanja. Posebno je potrebno proceniti indukovana biciklistička putovanja, odnosno nova putovanja koja se u postojećim uslovima ne realizuju, a mogu nastati nakon izgradnje staze, uz njihovo razdvajanje od postojećih putovanja koja se preusmeravaju na bicikl. Takav pristup omogućio bi potpuniju procenu očekivanog korišćenja staze i ukupnih ekonomskih efekata projekta.

LITERATURA

- [1] Buehler, R., Dill, J. (2016). Bikeway Networks: A Review of Effects on Cycling. *Transport Reviews*, 36(1), 9–27.
- [2] Mölenberg, F. J. M., Panter, J., Burdorf, A., van Lenthe, F. J. (2019). A systematic review of the effect of infrastructural interventions to promote cycling: Strengthening causal inference from observational data. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 16, 93.
- [3] McCarthy, O. T., Caulfield, B., Deenihan, G. (2016). Evaluating the quality of inter-urban cycleways. *Case Studies on Transport Policy*, 4(2), 96–103.
- [4] Zawawi, A. A., Porter, N., Ives, C. D. (2023). Influences on Greenways Usage for Active Transportation: A Systematic Review. *Sustainability*, 15(13), 10695.
- [5] BioRider. (2026). Bridging Communities: Co-creating a Sustainable and Beautiful Đetinja Riverfront. Project ID 9.6-0001-110-00482. CO-CREATE New European Bauhaus Open Call 2025, funded by EIT Urban Mobility / European Union.
- [6] Wardman, M., Tight, M., Page, M. (2007). Factors influencing the propensity to cycle to work. *Transportation Research Part A*, 41(4), 339–350.
- [7] Glavić, D., Milenković, M., Pavlović, M. (2018). Cost benefit analysis of bicycle infrastructure. *Put i saobraćaj*, 64(3), 65–68.
- [8] Foltýnová, H., Kohlová, M. B. (2002). Cost-Benefit Analysis of Cycling Infrastructure: A Case Study of Pilsen. Charles University Environment Center, Prague.
- [9] Vlada Republike Srbije (2023). Strategija bezbednosti saobraćaja Republike Srbije za period od 2023. do 2030. godine sa Akcionim planom za 2023. do 2025. godine. Službeni glasnik Republike Srbije, Beograd.
- [10] Wijnen, W. i dr. (2017). Crash cost estimates for European countries. Deliverable 3.2 of the H2020 project SafetyCube.
- [11] Department of Transport and Main Roads (2011). Cost-benefit Analysis Manual – Road Projects, First Edition. Queensland Government, Brisbane.
- [12] European Commission (2014). Update of the Handbook on External Costs of Transport. Directorate-General for Mobility and Transport, Brussels.
- [13] Kahlmeier, S., Götschi, T., Cavill, N., Castro Fernandez, A., Brand, C., Rojas Rueda, D., Woodcock, J., Kelly, P., Lieb, C., Oja, P., Foster, C., Rutter, H., Racioppi, F. (2017). Health Economic Assessment Tool (HEAT) for Walking and for Cycling: Methods and User Guide. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen.

- [14] Republički zavod za statistiku (2025). Tablice mortaliteta, 2025. Republički zavod za statistiku, Beograd.
- [15] Belis, C. A., Matkovic, V., Ballocci, M., Jevtic, M., Millo, G., Mata, E., Van Dingenen, R. (2023). Assessment of health impacts and costs attributable to air pollution in urban areas using two different approaches. A case study in the Western Balkans. *Environment International*, 182, 108347.
- [16] AASHTO (2010). Highway Safety Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- [17] Sælensminde, K. (2004). Cost-benefit analyses of walking and cycling track networks taking into account insecurity, health effects and external costs of motorized traffic. *Transportation Research Part A*, 38(8), 593–606.
- [18] Brown, V., Zapata Diomedi, B., Moodie, M., Veerman, J. L., Carter, R. (2016). A systematic review of economic analyses of active transport interventions that include physical activity benefits. *Transport Policy*, 45, 190–208.

SUMMARY

Cost-Benefit Analysis of Investments in Green Mobility Projects: A Case Study of the Užice–Sevojno Cycle Path

Abstract: The growing dependence on passenger cars highlights the need to develop alternative modes of transport. Cycle paths along river corridors are most commonly viewed as infrastructure intended for recreation and tourism. However, when they connect settlements with substantial daily travel demand, their role in supporting everyday mobility becomes particularly important. In this context, this paper analyses the economic feasibility of constructing a cycle path along the Đetinja River between Užice and Sevojno. A specific feature of the project lies in connecting two urban areas by a route running along the river. The economic feasibility of the project was assessed using cost-benefit analysis, considering daily trips between Užice and Sevojno under two modal shift scenarios, in which 5% and 10% of current passenger-car users switch to cycling. In addition to assessing the economic feasibility of the two scenarios, sensitivity analysis was used to determine the break-even modal shift rate at which the project reaches the threshold of economic viability. The contribution of the paper lies in considering bicycle infrastructure as an integral part of the transport system, rather than viewing it primarily in terms of recreational and tourism use. The findings may support investment decision-making for bicycle infrastructure and other green mobility projects with a significant transport function.

Key words: cycling infrastructure, cost-benefit analysis, sustainable mobility

Primena transportnog modela u procesu unapređenja gradskih saobraćajnih sistema i donošenja planskih i investicionih odluka na primeru Grada Novog Pazara

Miodrag Počuć, ADOMNE d.o.o., Novi Sad, miodrag.pocuc@adomne.rs

Goran Kalamanda, ADOMNE d.o.o., Novi Sad, goran.kalamanda@adomne.rs

Vuk Bogdanović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, vuk@uns.ac.rs

Nemanja Garunović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, garunovic@uns.ac.rs

Igor Vukobratović, ADOMNE d.o.o., Novi Sad, igor.vukobratovic@adomne.rs

Mira Ilić Tomić, ADOMNE d.o.o., Novi Sad, mira.ilicictomic@adomne.rs

Rezime: Grad Novi Pazar predstavlja jedan od retkih gradova srednje veličine u regionu koji u poslednjim decenijama beleži kontinuiran rast broja stanovnika. Povećanje životnog standarda i stepena motorizacije, uz istovremeni pad kvaliteta usluga javnog prevoza i nedovoljnu podršku aktivnim vidovima kretanja, doveli su do značajnih promena u vidovnoj raspodeli putovanja i povećane upotrebe putničkih automobila.

Navedeni trendovi, u kombinaciji sa nasleđenom uličnom mrežom i izostankom gradskih obilaznica, uslovi su drastično pogoršanje uslova odvijanja saobraćaja, naročito u centralnim gradskim zonama. Posledice se ogledaju u svakodnevnim saobraćajnim zagušenjima, smanjenim prosečnim brzinama, dužim vremenima putovanja, većoj potrošnji goriva i povećanim emisijama štetnih gasova, što negativno utiče na kvalitet života stanovnika, pristupačnost, bezbednost i održivi razvoj grada.

U cilju zaustavljanja navedenih negativnih trendova i uspostavljanja koncepta pametne i održive mobilnosti, neophodno je sprovesti mere usmerene na smanjenje zagušenja i vremena putovanja, unapređenje bezbednosti svih učesnika u saobraćaju, povećanje energetske efikasnosti, smanjenje emisija štetnih gasova, racionalnije korišćenje prostora i infrastrukture, kao i jačanje uloge javnog prevoza i aktivnih vidova kretanja.

Radi definisanja predloga takvih mera formiran je transportni model grada, zasnovan na ažurnim i terenski prikupljenim podacima o saobraćajnim tokovima, javnom prevozu, parkiranju i bezbednosti saobraćaja. Model omogućava simulaciju postojećeg stanja, budućih scenarija razvoja saobraćajnog sistema i procenu efekata predloženih intervencija.

Rad ukazuje na značaj izrade transportnog modela kao analitičke osnove za donošenje odluka u gradovima poput Novog Pazara, omogućavajući testiranje mera, vizuelizaciju rešenja i smanjenje rizika od pogrešnih i neefikasnih investicija. Posebno se ističu prednosti integrisanog pristupa u izradi transportnog modela i Plana održive urbane mobilnosti (POUM).

Ključne reči: planiranje saobraćaja, uslovi saobraćajnog toka, transportni model, planovi održive urbane mobilnosti (POUM).

1 UVOD

Razvoj gradskih saobraćajnih sistema odvija se u uslovima promenljivih transportnih zahteva i ograničenih prostornih, infrastrukturnih i finansijskih mogućnosti gradova. Istovremeno, savremeno planiranje zahteva usklađivanje potreba različitih korisnika i stvaranje uslova za razvoj održivijih vidova kretanja. Zbog toga jedan od ključnih izazova nije samo prepoznavanje postojećih problema, već izbor odgovarajućih mera i procena njihovih efekata pre donošenja planskih i investicionih odluka.

Analiza postojećeg stanja ukazuje na probleme u funkcionisanju saobraćajnog sistema, ali ne daje odgovor na pitanje kako će se sistem ponašati u budućnosti i kakve će posledice proizvesti pojedine intervencije. Njihovi efekti često nisu ograničeni na neposrednu zonu primene, već mogu dovesti do preraspodele saobraćajnih tokova na širem području. Zbog toga je pri planiranju potrebno razmatrati alternativne razvojne scenarije i proceniti njihove efekte. Transportni model omogućava povezivanje podataka o postojećem stanju sa prognozom transportnih zahteva i testiranjem mogućih planskih i investicionih rešenja.

U radu je ovakav pristup razmatran na primeru Grada Novog Pazara, za koji je u okviru izrade Transportne studije formirana informaciona osnova zasnovana na raspoloživim podacima i terenskim istraživanjima, a zatim razvijen i kalibrisan transportni model. Model je korišćen za analizu postojećeg stanja, prognozu transportnih zahteva i testiranje različitih scenarija razvoja saobraćajnog sistema.

Cilj rada je da se, kroz primer Novog Pazara, ukaže na mogućnosti primene transportnog modela u analizi i poređenju razvojnih scenarija i proceni efekata predloženih mera, sa posebnim osvrtom na njegov značaj za donošenje planskih i investicionih odluka.

2 METODOLOŠKI OKVIR ISTRAŽIVANJA I FORMIRANJA TRANSPORTNOG MODELA

Formiranje transportnog modela podrazumeva objedinjavanje podataka o karakteristikama saobraćajnog sistema sa jedne strane i transportnim zahtevima s druge strane, u jedinstvenu analitičku celinu. Njegova pouzdana primena zahteva odgovarajuću informacionu osnovu, definisanje osnovnih elemenata modela i kalibraciju prema podacima koji su utvrđeni u realnim uslovima.

Pouzdanost transportnog modela neposredno zavisi od kvaliteta i reprezentativnosti podataka na kojima je zasnovan. Konkretno, za Novi Pazar informaciona osnova formirana je kombinovanjem raspoloživih podataka, planske i druge relevantne dokumentacije i rezultata terenskih istraživanja. Istraživanja su obuhvatila motorizovane i nemotorizovane saobraćajne tokove, javni prevoz i parkiranje, dok su za formiranje modela posebno značajni bili podaci o intenzitetu i prostornoj raspodeli saobraćajnih tokova, karakteristikama putne i ulične mreže, režimu saobraćaja i socio-demografskim karakteristikama područja [1].

Model zahteva povezivanje transportne ponude i potražnje. Saobraćajna ponuda predstavljena je putnom i uličnom mrežom sa atributima kao što su kapacitet, dozvoljene brzine, broj traka i smernost, dok je transportna potražnja definisana obimom, prostornom raspodelom putovanja, raspodelom po načinima, kao i vremenskom

raspodelom. Za formiranje matrica putovanja korišćeni su rezultati istraživanja, demografski podaci i podaci o prostornoj distribuciji stanovništva i radnih mesta [1].

Transportni model Grada Novog Pazara razvijen je u programskom paketu PTV Visum. Osnovu modela čine digitalizovana saobraćajna mreža i matrice saobraćajne potražnje (OD matrice), kojima se definišu prostorni odnosi između izvora i ciljeva putovanja. Analizirano područje podeljeno je na saobraćajne zone povezane sa odgovarajućim demografskim i prostornim podacima [1].

Raspodelom putovanja na mrežu simuliraju se saobraćajni tokovi koji nastaju kao rezultat odnosa transportnih zahteva i karakteristika raspoložive mreže. Da bi se model pouzdano koristio za analizu budućih scenarija, izvršena je njegova kalibracija, odnosno usklađivanje modelovanih saobraćajnih opterećenja, sa vrednostima koja su utvrđena terenskim istraživanjima.

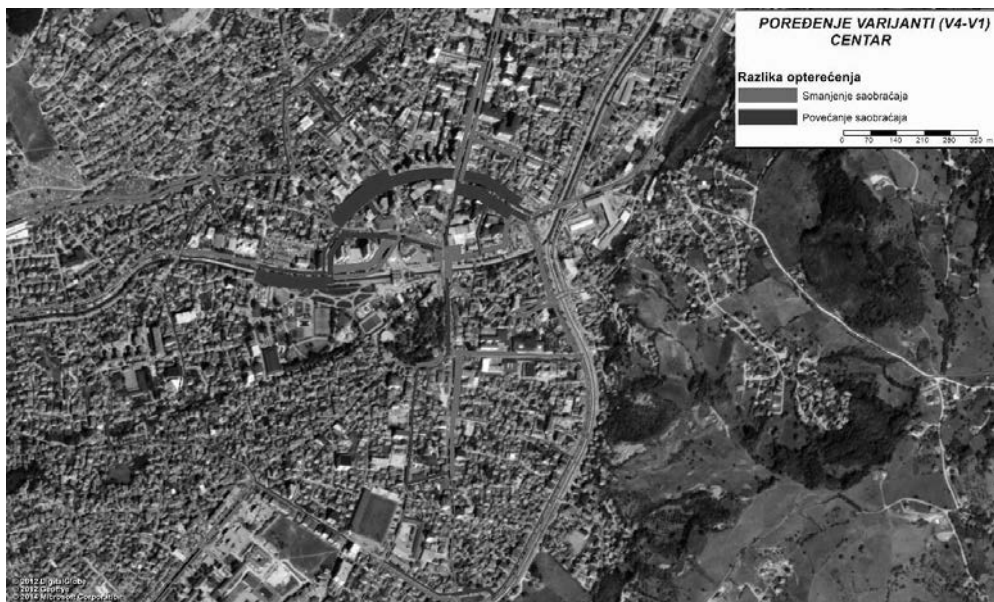
U slučaju Novog Pazara kalibracija je izvršena na osnovu matrice putovanja za popodnevni vršni čas i rezultata brojanja saobraćaja na karakterističnim tačkama mreže. Nakon kalibracije postignut je koeficijent korelacije od 99%, dok je srednja relativna greška smanjena sa 46% na 4%. Dobijeni pokazatelji potvrđuju da model odgovarajuće reprezentuje saobraćajna opterećenja postojećeg stanja i može se koristiti za dalje analize i prognoze [1].

3 PRIMENA MODELA U ANALIZI I TESTIRANJU VARIJANTI

Na primeru Novog Pazara formirano je ukupno pet varijanti modela.

Tabela 1: Pregled analiziranih varijanti i njihovih efekata

Varijanta	Tip varijante	Mere i intervencije	Ključne karakteristike i efekti
V0	Postojeće stanje	Nema intervencija (polazna osnova)	Osnova za poređenje budućih varijanti.
V1	Referentna varijanta (Ciljna 2035. godina)	Bez intervencija na postojećoj mreži, uz uvažavanje procenjenog rasta potražnje	Povećanje učešća putničkih automobila sa oko 56% na 58%. Porast broja vozila u vršnom satu za 11,2% (sa 10.585 na 11.920). Zadržavaju se iste najopterećenije ulice u centru, ali uz veći obim saobraćaja.
V2	Infrastrukturna varijanta (Ciljna 2035. godina)	Severna obilaznica, Južna obilaznica, Produžetak Ulice AVNOJ-a	Preraspodela tokova i rasterećenje gradske mreže od spoljnih putovanja. Protok od oko 200 vozila/smeru u popodnevnom vršnom času na Severnoj obilaznici. Omogućava procenu opravdanosti investicija pre realizacije.
V3	Regulativna varijanta (Ciljna 2035. godina)	Promena režima kretanja vozila Formiranje pešačke zone u centru grada (Bez izgradnje novih saobraćajnica)	Rasterećenje pojedinih raskrsnica i delova centralne mreže. Povećanje opterećenja na alternativnim pravcima (ulice Gradska, Veljka Vlahovića i Oslobođenja). Ukazuje na prostornu preraspodelu tokova pod uticajem lokalnih mera.
V4	Kombinovana varijanta (Ciljna 2035. godina)	Objedinjene sve infrastrukturne mere iz V2 i sve regulativne mere iz V3	Preusmeravanje tranzitnog i dela unutrašnjeg saobraćaja na obodne pravce. Povećano korišćenje novog dela Ulice AVNOJ. Rasterećenje najužeg gradskog jezgra u odnosu na V1.



Ilustracija 1. Poređenje varijanti V4–V1 za centralni deo grada

Poređenje ovih scenarija na istoj modelskoj osnovi omogućava procenu neposrednih i širih efekata različitih planskih i investicionih rešenja pre njihove realizacije.

4 ZNAČAJ TRANSPORTNOG MODELA ZA PLANIRANJE I DONOŠENJE ODLUKA

Rezultati prikazani na primeru Novog Pazara pokazuju da primena transportnog modela ne treba da se završi analizom postojećeg stanja i prognozom budućih transportnih zahteva. U praksi se odluke o razvoju lokalnih saobraćajnih sistema neretko donose uz ograničenu informacionu i analitičku osnovu, bez ispitivanja mogućih efekata predloženih rešenja. Praktična vrednost transportnog modela je upravo u tome što omogućava da se različite mere i razvojni scenariji analiziraju i međusobno uporede pre njihove realizacije, čime se obezbeđuje pouzdanija osnova za donošenje planskih i investicionih odluka.

To je posebno značajno kod infrastrukturnih intervencija koje zahtevaju velika ulaganja i imaju dugoročne posledice po funkcionisanje saobraćajnog sistema. Model omogućava procenu očekivanog korišćenja nove infrastrukture i njenog uticaja na postojeću mrežu. Rezultati regulativnih scenarija istovremeno pokazuju da i mere koje ne podrazumevaju izgradnju mogu značajno promeniti prostornu raspodelu saobraćajnih tokova, zbog čega njihove efekte treba posmatrati na nivou šire mreže.

Poređenje alternativnih scenarija pruža osnovu za izbor i prioritizaciju mera, njihovo kombinovanje i određivanje dinamike realizacije. Takav pristup odgovara savremenom planiranju održive urbane mobilnosti, u kome se različita rešenja razmatraju i njihovi efekti procenjuju pre konačnog opredeljenja za određenu intervenciju [2], [3]. Transportni model obezbeđuje analitičku podlogu za donošenje odluke. Konačna odluka uključuje i druge kriterijume – finansijske, prostorne, ekološke, društvene i institucionalne.

Imajući u vidu navedeno, transportni model ima dodatnu vrednost samo ukoliko se i dalje koristi i ažurira novim podacima i rezultatima istraživanja. Time je moguće pratiti promene transportnih zahteva, proveravati efekte realizovanih mera i analizirati nove razvojne scenarije, čime model postaje deo kontinuiranog procesa planiranja saobraćajnog sistema.

5 ZAKLJUČAK

Transportni model je važan analitički alat u planiranju razvoja gradskih saobraćajnih sistema. Povezivanjem podataka o postojećem stanju sa prognozom budućih transportnih zahteva, model omogućava analizu različitih planskih i investicionih rešenja i procenu njihovog uticaja na funkcionisanje saobraćajne mreže.

Primer Novog Pazara pokazuje da različite vrste intervencija mogu imati različite efekte na funkcionisanje saobraćajne mreže. Izgradnja novih infrastrukturnih kapaciteta, izmene režima saobraćaja i/ili njihovo kombinovanje menjaju raspodelu tokova, pri čemu rasterećenje jednog dela mreže može dovesti do povećanja opterećenja na drugim pravcima. Poređenje različitih varijanti budućeg stanja omogućava da se takvi efekti prepoznaju pre realizacije mera i uzmu u obzir pri izboru i prioritizaciji budućih intervencija.

Ovakav pristup je posebno važan pri izradi planova održive urbane mobilnosti (POUM), jer transportni model omogućava da se različite mere i varijante razvoja transportnog sistema analiziraju i uporede na istoj modelskoj osnovi. Time se odluke o budućem razvoju ne zasnivaju samo na problemima utvrđenim u postojećem stanju, već i na proceni očekivanih efekata različitih mogućih rešenja.

Formiranjem transportnog modela njegova uloga se ne završava. Ažuriranjem podataka model se može koristiti za praćenje promena u transportnom sistemu, ispitivanje novih varijanti i mera i podršku budućim planskim i investicionim odlukama. Osnovna prednost transportnog modela zato nije samo u simulaciji saobraćajnih tokova, već u mogućnosti da se buduće stanje transportnog sistema analizira pre nego što se odluke o njegovom razvoju sprovedu u praksi.

LITERATURA

- [1] Transportna studija Grada Novog Pazara, Knjige 1–4: Metodologija izrade studije; Rezultati istraživanja; Analiza postojećeg stanja; Predlozi mera sa akcionim planovima, Adomne d.o.o., Novi Sad, 2025–2026.
- [2] Ortúzar, J. de D., Willumsen, L. G.: *Modelling Transport*, 4th ed., John Wiley & Sons, Chichester, 2011.
- [3] Rupprecht, S., Brand, L., Böhler-Baedeker, S., Brunner, L. M.: *Guidelines for Developing and Implementing a Sustainable Urban Mobility Plan*, 2nd ed., Rupprecht Consult – Forschung & Beratung GmbH, Cologne, 2019.

Advantages of Developing a Transport Model for Improving Urban Transport Systems and Supporting Planning and Investment Decisions: The Case of the City of Novi Pazar

Abstract: The City of Novi Pazar is one of the few medium-sized cities in the region that has experienced continuous population growth over the past decades. An increase in living standards and motorization rates, accompanied by a decline in the quality of public transport services and insufficient support for active mobility modes, has led to significant changes in modal split and an increased use of private passenger cars.

These trends, combined with the inherited street network and the absence of urban bypass roads, have resulted in a substantial deterioration of traffic conditions, particularly within the central urban areas. The consequences are reflected in daily traffic congestion, reduced average travel speeds, longer travel times, increased fuel consumption, and higher emissions of harmful pollutants, all of which negatively affect residents' quality of life, accessibility, traffic safety, and the sustainable development of the city.

In order to halt these negative trends and establish the concept of smart and sustainable mobility, it is necessary to implement measures aimed at reducing congestion and travel times, improving the safety of all road users, increasing energy efficiency, reducing harmful emissions, promoting a more rational use of urban space and infrastructure, and strengthening the role of public transport and active mobility modes.

To support the development of such measures, a transport model of the city was established based on up-to-date, field-collected data on traffic flows, public transport, parking, and road safety. The model enables the simulation of both existing and future transport system development scenarios and the assessment of the impacts of proposed interventions.

The paper highlights the importance of developing a transport model as an analytical basis for decision-making in cities such as Novi Pazar, enabling the testing of proposed measures, the visualization of planning solutions, and the reduction of risks associated with inadequate and inefficient investments. Particular emphasis is placed on the benefits of an integrated approach to the development of the transport model and the Sustainable Urban Mobility Plan (SUMP).

Keywords: *Traffic planning, Traffic flow conditions, Transport model, Sustainable Urban Mobility Plans (SUMPs)*

Primena PTV Visum-a u analizi uticaja planirane saobraćajne infrastrukture na saobraćajne tokove Novog Sada

Nikola Pandžić, JP „Urbanizam“, Novi Sad, nikolapandzic23@gmail.com

Aleksandar Panjković, JP „Urbanizam“, Novi Sad, psale74@gmail.com

Rezime: Rad se bavi grafičkim prikazom i analizom promena u saobraćajnoj mreži primenom softverskog paketa PTV Visum, jednog od vodećih alata za izradu transportnih modela i makrosimulaciju saobraćajnih tokova. Analiza je sprovedena na transportnom modelu grada Novog Sada, sa akcentom na sremsku stranu grada, na kojoj se u planskom periodu očekuje intenzivan razvoj stambenih i pratećih sadržaja, kao i realizacija značajnih infrastrukturnih projekata. Poseban fokus stavljen je na uticaj izgradnje dva nova mosta preko Dunava, Fruškogorskog koridora i obilaznice oko Petrovaradina. Kroz poređenje postojećeg stanja i ciljnih godina vizuelizovane su promene u intenzitetima saobraćajnih tokova, čime je prikazan doprinos planirane infrastrukture preraspodeli saobraćaja, rasterećenju postojećih saobraćajnica i efikasnijem usmeravanju tranzitnih tokova. Rezultati modeliranja ukazuju na značajno unapređenje funkcionisanja saobraćajne mreže, posebno na sremskoj strani grada, i potvrđuju značaj primene transportnih modela kao alata za planiranje, vrednovanje i donošenje odluka u oblasti razvoja saobraćajne infrastrukture.

Ključne reči: transportno modeliranje, PTV Visum, makrosimulacija, scenariji

1 UVOD

Savremeni svet, uključujući i transportni sektor, prolazi kroz brze i intenzivne promene. Iako se suočavamo sa napretkom tehnologije i razvojem infrastrukture, mnogi problemi iz prošlosti i dalje su prisutni – poput saobraćajnih zagušenja, zagađenja, saobraćajnih nezgoda, finansijskih ograničenja i nejednake dostupnosti transporta. Ovi problemi se ne samo zadržavaju, već se često javljaju u složenijim i rasprostranjenijim oblicima, uprkos naporima da se ublaže kroz klasične mere upravljanja saobraćajem. Razvoj informacionih tehnologija doneo je nove mogućnosti u planiranju i upravljanju transportom. Savremeni transportni sistemi sve više se oslanjaju na napredne modele i simulacije, čime se unapređuje proces donošenja odluka. U uslovima globalizacije i ubrzane urbanizacije, posebno u zemljama u razvoju, transportni problemi postaju još izraženiji [1]. Ograničeni resursi, nedostatak kvalitetnih podataka i stručnog kadra dodatno otežavaju planiranje i razvoj održivih transportnih sistema. U tom kontekstu, transportno modeliranje predstavlja važan alat koji omogućava pojednostavljeno predstavljanje realnih sistema i analizu njihovog ponašanja. Iako modeli ne mogu zameniti proces planiranja, oni pružaju značajnu podršku u donošenju odluka, omogućavajući bolje razumevanje kompleksnih odnosa unutar transportnog sistema [2]. Njihova vrednost ogleda se u sposobnosti da pruže objektivnu osnovu za evaluaciju različitih scenarija i planerskih rešenja.

2 ISTRAŽIVANJA

Novi Sad se decenijama dominantno razvijao na levoj obali Dunava, što je dovelo do visokog stepena urbanizacije i skoro potpunog iscrpljivanja prostornih kapaciteta na bačkoj strani. Usled prenaseljenosti i intenzivne izgrađenosti centralnih gradskih zona, fokus daljeg strateškog širenja grada prirodno se pomera ka sremskoj strani. Ova tranzicija podrazumeva transformaciju desne obale iz pretežno rezidencijalno-ruralnih i rekreativnih celina u dinamične urbane zone sa visokom gustinom stanovanja, što je i predviđeno aktuelnim planskim dokumentima. Ovakav radikalna zaokret u urbanizmu direktno uslovljava potrebu za [3]:

- Analizom novih saobraćajnih tokova, jer će planirana izgradnja stambenih kompleksa na Sremskoj strani generisati značajnu saobraćajnu potražnju koja prevazilazi kapacitete trenutne ulične mreže;
- Evaluacijom uticaja nove infrastrukture, gde dva nova mosta ne predstavljaju samo tranzitne pravce, već ključne arterije koje moraju da integrišu novonastale centre atrakcije na desnoj obali sa ostatkom gradskog tkiva;
- Sveobuhvatnim sagledavanjem mobilnosti, kako bi se kroz preventivno planiranje izbegli scenariji saobraćajnog zagušenja i narušavanja kvaliteta života u delovima grada koji tek treba da dosegnu svoj puni razvojni potencijal.

Značajni saobraćajni infrastrukturni projekti koji su u toku, a čijom realizacijom će leva i desna obala Dunava biti povezana sa dva nova mosta, potrebno je analizirati funkcionisanje saobraćajnog sistema na desnoj obali Dunava u budućem periodu. Održiv razvoj grada i njegovih funkcionalnih delova nezamisliv je bez adekvatne saobraćajne infrastrukture, koja treba da bude u funkciji održive urbane mobilnosti i kvalitetnog života stanovnika. U tom smislu neophodno je definisati mere i planove aktivnosti u skladu sa promenama koje će uslediti završetkom izgradnje saobraćajne infrastrukture na desnoj obali Dunava. Upravo zbog ove promene paradigme u širenju grada, neophodno je koristiti postojeći transportni model grada Novog Sada (*Nostram*) kako bi se kvantifikovali efekti naseljavanja sremske strane i proverilo da li planirana infrastruktura može adekvatno da podrži projektovani porast broja stanovnika i kretanja.

Postojeći transportni model Novog Sada, je ažuriran podacima za sremsku stranu, i napravljene su 4 varijante.

2.1 Varijanta 1 (stanje 2024. godina)

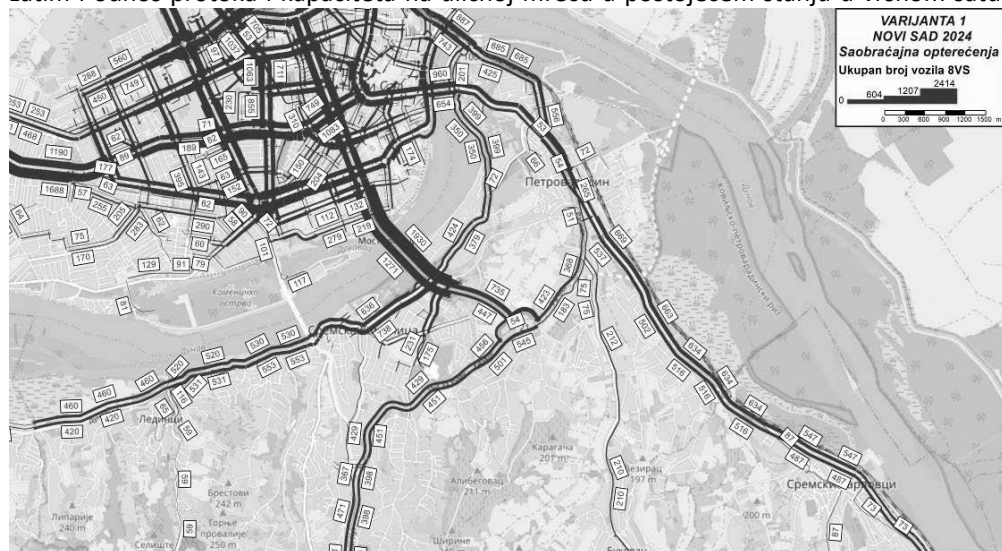
U prvoj varijanti prikazana su saobraćajna opterećenja na mreži u 2024. godini, u periodu jutarnjeg vršnog sata (7.00-8.00h). Na osnovu saobraćajnog modela, utvrđeno je da se najintenzivniji saobraćajni tokovi javljaju na Mostu slobode, sa raspodelom 1.980 vozila/h u smeru ka gradu i 1.330 vozila/h u smeru iz grada. Nakon Mosta slobode intenzivna saobraćajna opterećenja su na mostu „Varadinska duga“ (960 vozila/h u smeru ka gradu i 654 vozila/h u smeru iz grada) i Žeželjevom mostu (887 vozila/h u smeru ka gradu i 743 vozila/h u smeru iz grada).

Na državnom putu IB-21, na preseku jugozapadno od Mišelučke petlje, veličina zahteva za protokom iznosi 500 vozila/h ka gradu i 450 vozila/h u smeru iz grada. Na preseku državnog puta IIA-119 (Ledinački put), nakon raskrsnice sa Fruškogorskom ulicom u Ledincima, u smeru ka gradu broj vozila iznosi 550 vozila/h, dok u smeru iz grada iznosi

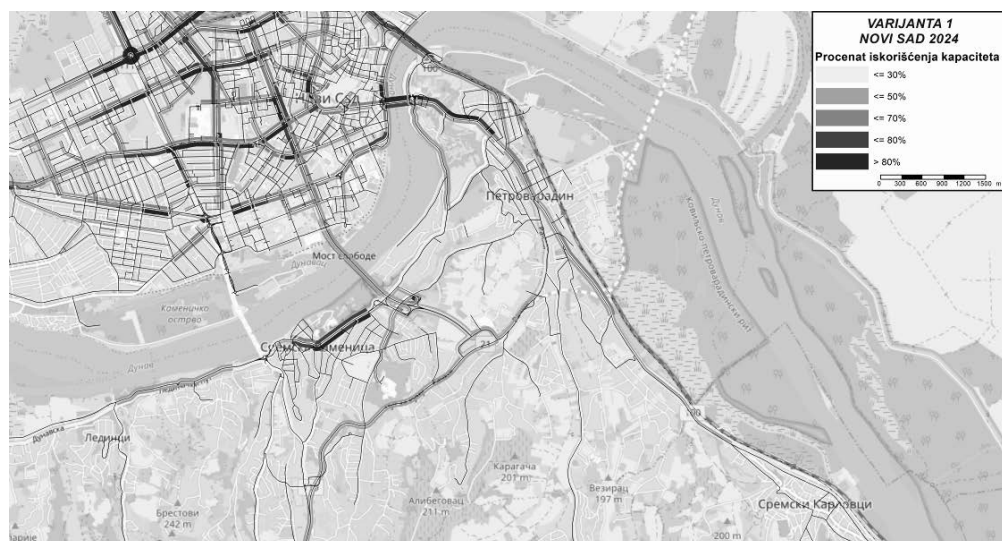
530 vozila/h. Kroz Karađorđevu ulicu u centru Sr. Kamenice ovi tokovi su nešto veći, 738 vozila/h ka, odnosno 638 vozila/h iz grada.

U Petrovaradinu najopterećenija saobraćajnica je privremena deonica državnog puta IIA-100 (Preradovićeve ulice), gde su saobraćajni tokovi: 750 vozila/h ka i 450 vozila/h iz grada. Saobraćajna opterećenja u Reljkovićevoj ulici iznose 680 vozila/h ka gradu i 425 vozila/h iz grada.

Na sledećoj slici prikazan je dijagram opterećenja mreže, na kom je srazmerno debljinom linije prikazan intenzitet saobraćajnih tokova, odnosno broj vozila na mreži, a zatim i odnos protoka i kapaciteta na uličnoj mreži u postojećem stanju u vršnom satu.



Slika 1: Prikaz rezultata saobraćajnog opterećenja za V1



Slika 2: Prikaz procenta iskorišćenosti kapaciteta za V1

2.2 Varijanta 2, 3 i 4 (planski periodi 2027, 2030. i 2035)

Saobraćajna opterećenja mreže za ciljne godine podrazumevaju izgrađena dva nova mosta (most preko Dunava u produžetku Bul. Evrope i most preko Dunava ka Kaću i autoputu), Fruškogorski koridor (2+2 saobraćajne trake po smeru), obilaznicu oko Petrovaradina i delimičnu realizaciju sekundarne saobraćajne infrastrukture. U model je implementirano i progresivno povećanje broja putovanja motornim vozilom na celokupnoj teritoriji grada. Na osnovu urbanističkih planova, kao i trenda porasta broja stanovnika u pojedinim delovima grada dodatno je povećan broj putovanja motornim vozilima. Ovo pre svega podrazumeva delove sremske strane grada, u kojima se očekuje ekspanzija izgradnje stambenih i poslovnih objekata, a ističu se prostorne celine: Mišeluk, Alibegovac, Širine, Ledine, Čardak, Popovica, Tatarsko brdo, Paragovo i Trandžament. Izmena matrica putovanja u okviru saobraćajnog modela vršena je na osnovu sledećih parametara: procenjena izgrađenost planiranih kapaciteta područja u ciljnoj godini, mobilnost stanovništva, stepen motorizacije, vidovna raspodela, produkcija i atrakcija u vršnom satu.

Vrednosti stepena motorizacije za planske godine određene su ekstrapolacijom trenda zabeleženog u periodu 2017–2024. godine [4], pri čemu je za baznu 2024. godinu usvojena vrednost od 420 putničkih automobila na 1.000 stanovnika.

Tabela 1. Usvojene vrednosti stepena motorizacije u baznoj i planskim godinama

Godina	Stepen motorizacije (PA/1.000 stanovnika)	Promena u odnosu na 2024. godinu (%)
2024	420	–
2027	441	+5,0
2030	463	+10,2
2035	499	+18,8

Za potrebe formiranja ciljnih matrica putovanja definisane su četiri vremenske varijante, pri čemu V1 predstavlja bazno stanje za 2024. godinu. Ciljne varijante formirane su kombinovanjem opšteg porasta obima putovanja na nivou grada i dodatnih korekcija odabranih saobraćajnih zona. U varijanti V3 primenjen je opšti rast matrice od 5% u odnosu na V2, dok je za V4 primenjen dodatni rast od 3% u odnosu na V3.

Tabela 2. Pregled ukupnog broja putovanja i primenjenih faktora rasta po varijantama

Varijanta	Godina	Ukupno putovanja	Rast u odnosu na V1	Opšti rast u odnosu na prethodnu varijantu	Dodatna putovanja u odnosu na opšti rast
V1	2024	38.745	–	–	–
V2	2027	38.982	+0,61%	0%	237
V3	2030	41.975	+8,34%	5%	1.044
V4	2035	45.526	+17,50%	3%	2.292

Varijanta 2 prikazuje saobraćajna opterećenja na mreži u 2027. godini, u periodu jutarnjeg vršnog sata.

Nakon izgradnje nove saobraćajne infrastrukture (četvrti i peti most, Fruškogorski koridor i obilaznica oko Petrovaradina) modelom je dobijeno da su na novom mostu u produžetku Bul. Evrope vrednosti od 1.380 vozila/h ka gradu i 1.180 vozila/h od grada. Na Mostu slobode tokovi iznose: 1.088 vozila/h i 682 vozila/h, od grada i ka gradu, respektivno. Saobraćajni protoci na Žeželjevom mostu su 722 vozila/h ka gradu i 642 vozila/h od grada, dok na Mostu duga vrednosti iznose 731 vozila/h i 464 vozila/h, ka gradu i od grada, respektivno.

Na novom mostu preko Dunava u pravcu ka Kaću i auto-putu A1 prognozirani su protoci od 429 vozila/h, a u suprotnom smeru 419 vozila/h, dok sa na novoplaniranoj obilaznici oko Petrovaradina, na preseku neposredno nakon petlje sa Fruškogorskim koridorom i novim mostom, prognoziraju protoci: 551 vozila/h ka gradu i 394 vozila/h od grada.

Ulicom Dinka Šimunovića, usled ekspanzije izgradnje stambenih i poslovnih objekata na području kroz koji se prostire (Mišeluk i Trandžament), prognoziraju se intezivni tokovi u jutarnjem vršnom satu, i to 290 vozila/h ka gradu i 52 vozila/h od grada.

Paragovskim putem (obilaznica oko Sr. Kamenice), usled izgradnje novog mosta u produžetku Bul. Evrope, prognoziraju se protoci 315 vozila/h ka gradu i 333 vozila/h od grada.

U cilnoj 2030. godini povećanje saobraćajnog opterećenja na mreži proporcionalno je povećanju broja vozila i učešća motornih vozila u kretanjima, što je rezultat novih stambenih i poslovnih objekata u ovom delu grada. Uzimajući u obzir da se u periodu od 2030. do 2035. godine ne očekuje značajan razvoj ulične mreže na desnoj strani obale Dunava, pa samim tim i povećanje broja putovanja, usvojeno je da bi porast saobraćajnog opterećenja bio srazmeran povećanju broja i učešća motornih vozila u mobilnosti stanovništva.

Na narednim slikama srazmerno debljinom linije prikazani su intenziteti saobraćajnih tokova na primarnim saobraćajnicama, odnosno broj vozila na mreži u ciljnim godinama (2027, 2030. i 2035), kao i procenti iskorišćenja kapaciteta za sva tri planska perioda.



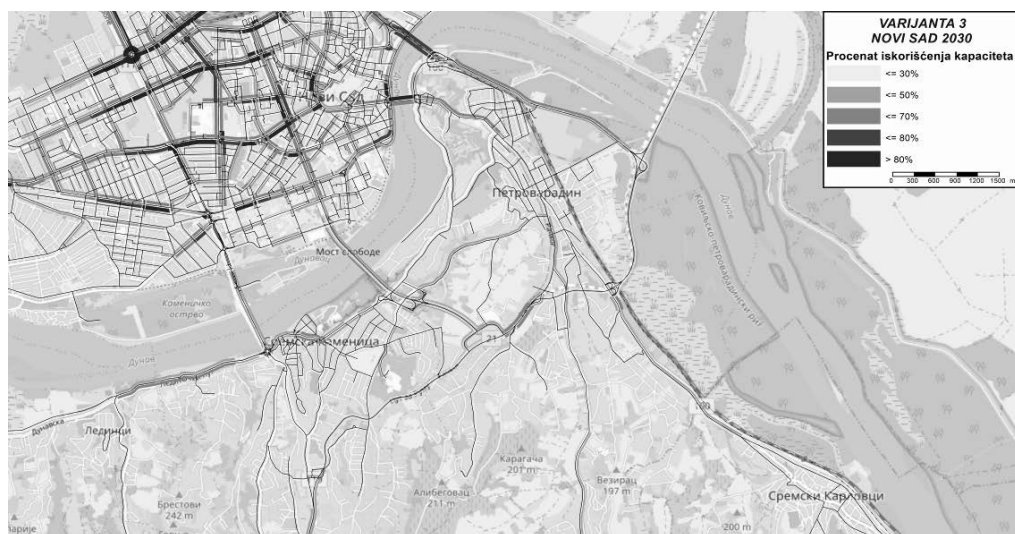
Slika 3: Prikaz rezultata saobraćajnog opterećenja za V2



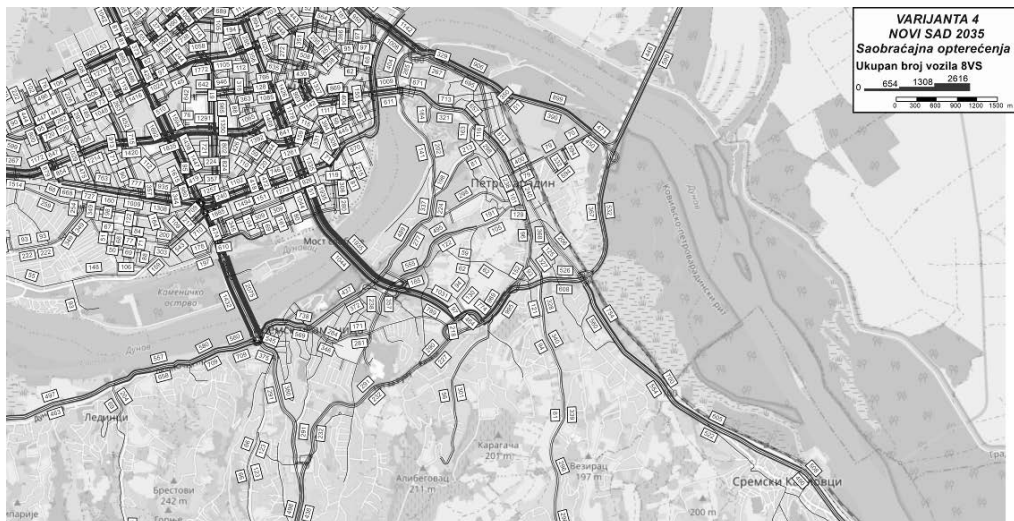
Slika 4: Prikaz procenta iskorišćenosti kapaciteta za V2



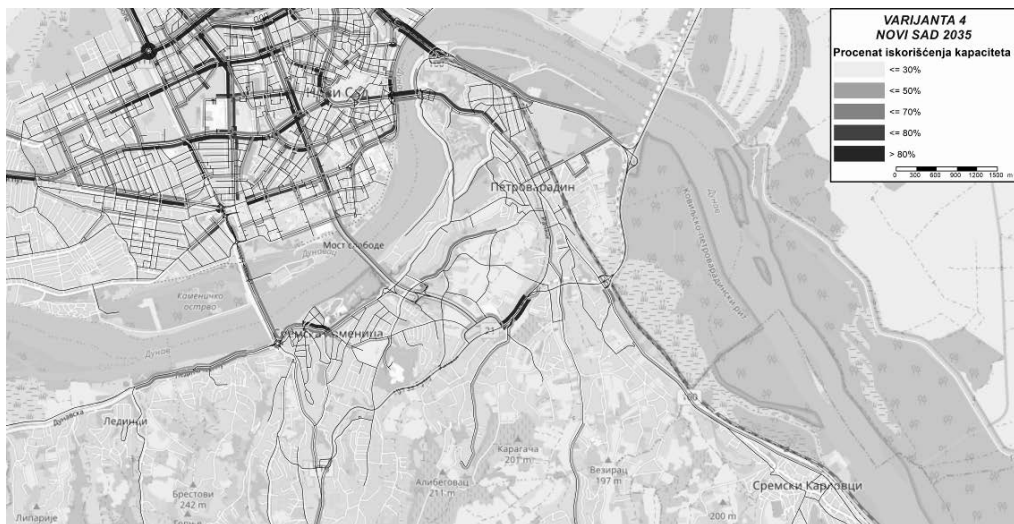
Slika 5: Prikaz rezultata saobraćajnog opterećenja za V3



Slika 6: Prikaz procenta iskorišćenosti kapaciteta za V3



Slika 7: Prikaz rezultata saobraćajnog opterećenja za V4



Slika 8: Prikaz procenta iskorišćenosti kapaciteta za V4

2.3 Analiza promene saobraćajnog opterećenja na mreži

U periodu od 2024. do 2027. godine (Slika 9) najizraženija smanjenja protoka vozila su na Mostu slobode, koja su u direktnoj vezi sa izgradnjom novog mosta u produžetku Bul. Evrope. U smeru ka gradu protok vozila je smanjen za 43%, dok u smeru od grada smanjenje iznosi 46%. Izgradnjom mosta u produžetku Bul. Evrope značajno će se rasteretiti saobraćaj u centru Sr. Kamenice na DP 119 (ulice Karađorđeva i Vojvode Putnika) i to u proseku za oko 55% u smeru ka gradu i 62% u smeru od grada, kao i na Kameničkom putu, za oko 62% u oba smera.

Na Žeželjevom mostu evidentirana su smanjenja protoka za oko 15% u oba smera, dok na Mostu duga u smeru ka gradu su smanjeni protoci za 23%, a u smeru od grada za 30%.

U Petrovaradinu, došlo je do smanjenja protoka vozila u Preradovićevoj ulici (DP 100) za 33% u smeru ka gradu i 58% u smeru od grada. U Reljkovićevoj ta smanjenja iznose 76% ka gradu i 64% od grada. Ova smanjenja su rezultat preusmeravanja tranzitnog saobraćaja na Fruškogorski koridor i obilaznicu oko Petrovaradina.

Direktna posledica izgradnje mosta u produžetku Bulevara Evrope, je evidentno povećanje protoka vozila na Paragovskom putu (obilaznica oko Sr. Kamenice).

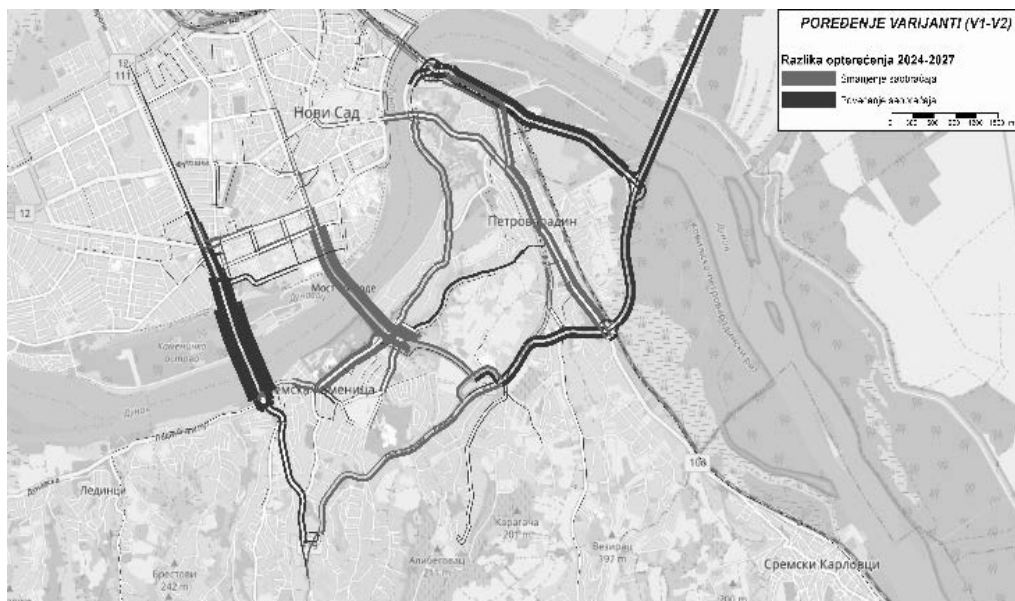
Značajnija povećanja protoka su uočljiva na petlji kod Žeželjevog mosta, u delu Fruškogorskog koridora severoistočno od Mišelučke petlje i u Ulici Dinka Šimunovića.

U saobraćajnom modelu manifestovana su značajna smanjenja protoka vozila (25% u oba smera) na deonici državnog puta IB-12, koja predstavlja značajnu vezu grada sa auto-putem A1, preko petlje Novi Sad-istok. Iako je deonica izvan obuhvata ove analize, smanjenja su direktna posledica izgradnje Fruškogorskog koridora, obilaznice oko Petrovaradina i novog mosta preko Dunava ka Kaću i veze sa auto-putem.

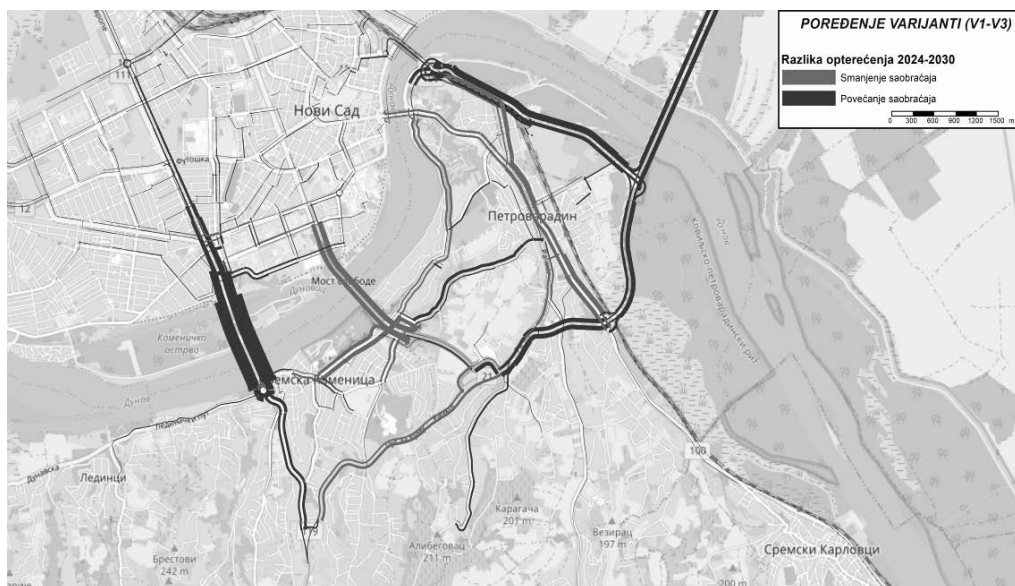
Posmatrajući između 2024. i 2030. godine (Slika 10) osim navedenih preusmeravanja saobraćajnih tokova izgradnjom novog mosta u produžetku Bul. Evrope, Fruškogorskog koridora i obilaznice oko Petrovaradina, promena intenziteta saobraćaja na mreži analiziranog područja uočljiva je usled prognoziranog porasta stepena motorizacije, broja putovanja motornim vozilom i izgradnjom novih stambenih i poslovnih objekata na Sremskoj strani grada.

Kao i u prethodnom poređenju, usled prognoziranog stepena motorizacije broja, putovanja motornim vozilom i izgradnjom novih stambenih i poslovnih objekata na Sremskoj strani grada 2035. godine, prognozira se povećanje intenziteta saobraćaja na području analize u odnosu na baznu 2024. godinu. (Slika 11)

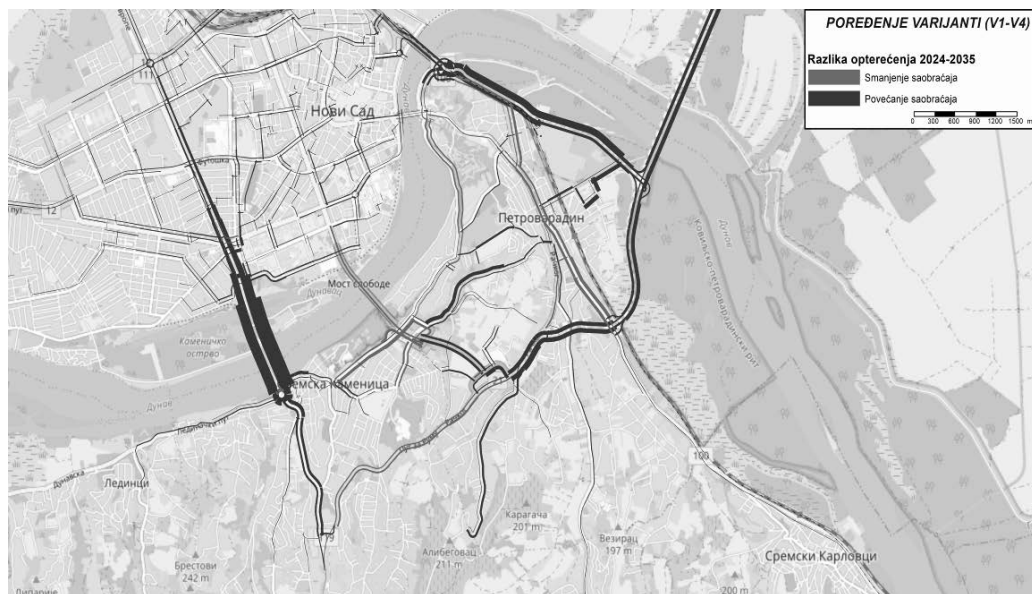
Interesantna je razlika opterećenja saobraćaja na preseku Mosta slobode, gde se ovom analizom prognozira da će se ciljne 2035. godine broj vozila vratiti na vrednosti iz bazne 2024. godine, bez obzira na izgrađene nove mostove. Razlog za ovakvu raspodelu tokova na mrežu je očekivana ekspanzija izgradnje sremske strane grada Novog Sada.



Slika 9: Poređenje varijanti saobraćajnog opterećenja (V1-V2)



Slika 10: Poređenje varijanti saobraćajnog opterećenja (V1-V3)



Slika 11: Poređenje varijanti saobraćajnog opterećenja (V1-V4)

3 ZAKLJUČAK

Primena transportnog modela grada Novog Sada, uz korišćenje softverskog paketa *PTV Visum*, omogućila je sagledavanje i vrednovanje uticaja planiranog razvoja saobraćajne infrastrukture na buduće funkcionisanje saobraćajne mreže. Analizom četiri definisane varijante, od postojećeg stanja do ciljnih godina 2027, 2030. i 2035, omogućeno je praćenje promena saobraćajnih tokova u uslovima očekivanog povećanja broja stanovnika, intenziviranja urbanizacije i porasta saobraćajne potražnje, posebno na sremskoj strani Novog Sada.

Rezultati modeliranja ukazuju da realizacija ključnih infrastrukturnih projekata, pre svega novih mostova preko Dunava, Fruškogorskog koridora i obilaznice oko Petrovaradina, ima značajan uticaj na preraspodelu saobraćajnih tokova i poboljšanje funkcionalnosti saobraćajne mreže. Istovremeno, rezultati potvrđuju da se efekti planirane infrastrukture ne mogu posmatrati izolovano, već u međusobnoj povezanosti sa razvojem novih stambenih i poslovnih zona, promenama u prostornoj distribuciji stanovništva i rastom saobraćajne potražnje.

Poseban značaj primene transportnog modela ogleda se u mogućnosti da se različiti razvojni scenariji analiziraju pre realizacije infrastrukturnih zahvata. Na taj način moguće je blagovremeno identifikovati potencijalne probleme u funkcionisanju mreže, proceniti opravdanost pojedinih infrastrukturnih rešenja i sagledati njihov doprinos rasterećenju postojećih saobraćajnica i usmeravanju tranzitnih tokova. Vizuelizacija rezultata u *PTV Visum-u* dodatno omogućava jednostavniju prostornu interpretaciju promena i efikasniju komunikaciju rezultata između saobraćajnih planera, projekatana i donosilaca odluka.

Dobijeni rezultati potvrđuju da transportno modeliranje predstavlja značajan instrument savremenog planiranja saobraćajne infrastrukture, posebno u uslovima intenzivnog prostornog razvoja kakav se očekuje na sremskoj strani Novog Sada. Kontinuirano ažuriranje modela novim podacima i njegovo korišćenje za analizu budućih

planskih scenarija može predstavljati osnovu za kvalitetnije i pouzdanije donošenje odluka o razvoju saobraćajne mreže grada. *PTV Visum* se u tom smislu pokazuje kao efikasan alat za povezivanje prostornog i saobraćajnog planiranja i za kvantitativno vrednovanje dugoročnih efekata planirane infrastrukture na funkcionisanje gradskog saobraćajnog sistema.

LITERATURA

- [1] Batty, M. (2013). *The New Science of Cities*. MIT Press.
- [2] PTV Group. (2023). *PTV Visum User Manual*.
- [3] Wegener, M. (2004). Overview of land use transport models. *Handbook of Transport Geography*.
- [4] Smart Plan, II Faza, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za saobraćaj

SUMMARY

Application of PTV Visum in the Analysis of the Impact of Planned Transport Infrastructure on Traffic Flows in Novi Sad

Abstract: This paper deals with the graphical representation and analysis of changes within the transport network using the PTV Visum software package, one of the leading tools for developing transport models and macro-simulation of traffic flows. The analysis was conducted on the transport model of the City of Novi Sad, with an emphasis on the Syrmian (Srem) side of the city, where intensive development of residential and accompanying facilities, as well as the realization of significant infrastructure projects, is expected during the planning period. A special focus is placed on the impact of constructing two new bridges over the Danube River, the Fruška Gora Corridor, and the Petrovaradin bypass. By comparing the baseline scenario and target years, changes in traffic flow intensities were visualized, demonstrating the contribution of the planned infrastructure to traffic redistribution, the relief of existing roads, and the more efficient routing of transit flows. The modeling results indicate a significant improvement in the functioning of the transport network, particularly on the Syrmian side of the city, and confirm the importance of applying transport models as tools for planning, evaluation, and decision-making in the field of transport infrastructure development.

Keywords: transport modeling, PTV Visum, macro-simulation, scenarios

Primena GIS metoda za analizu prostorne preglednosti u zoni pružnih prelaza¹⁵

Ana Lukić, Putevi Srbije d.o.o., Beograd, ana.lukic@putevi-srbije.rs

Miloš Milosavljević, Putevi Srbije d.o.o., Beograd, milos.milosavljevic@putevi-srbije.rs

Ivana Ilić, Putevi Srbije d.o.o., Beograd, ivana.ilic@putevi-srbije.rs

Katarina Borović, Putevi Srbije d.o.o., Beograd, katarina.borovic@putevi-srbije.rs

Rezime: Bezbednost pružnih prelaza predstavlja značajan izazov u upravljanju saobraćajnom infrastrukturu, posebno na lokacijama gde ograničena preglednost može uticati na blagovremeno reagovanje učesnika u saobraćaju. Tradicionalne metode procene preglednosti često se zasnivaju na terenskim obilascima i subjektivnim procenama, što može ograničiti mogućnost sistematske analize većeg broja lokacija. U radu je prikazana primena geografskih informacionih sistema (GIS) i analiza vidljivosti (Viewshed/Visibility Analysis) u proceni preglednosti pružnih prelaza sa aspekta vozača drumskih vozila. Metodologija podrazumeva korišćenje digitalnog modela površina, geoprostornih podataka o putnoj i železničkoj infrastrukturi i lokacijama pružnih prelaza. Analizom se procenjuje preglednost pružnih prelaza u odnosu na udaljenost, geometriju puta i potencijalne prepreke u prostoru. Predloženi pristup doprinosi objektivnijoj proceni bezbednosti i može predstavljati podršku u procesu planiranja, održavanja i upravljanja saobraćajnom infrastrukturu.

Ključne reči: GIS, analiza preglednosti, pružni prelazi, bezbednost saobraćaja, drumska infrastruktura.

1 UVOD

Pružni prelaz definisan Zakonom o železnici predstavlja mesto ukrštanja železničke pruge koja pripada javnoj železničkoj infrastrukturi, industrijskoj železnici ili industrijskom koloseku i puta u istom nivou, koji obuhvata i ukrštanje tih koloseka sa pešačkom ili biciklističkom stazom [1].

Ukrštanje drumskog i železničkog saobraćaja u nivou predstavlja specifičan element saobraćajne infrastrukture, pri čemu odgovarajuća preglednost ima značajnu ulogu u pravovremenom uočavanju železničke pruge, kretanju vozova i putničkih vozila. Uslovi preglednosti zavise od brojnih faktora, a među njima su i geometrija saobraćajne infrastrukture, konfiguracija terena i prisustvo prepreka u neposrednom okruženju prelaza. Istraživanja sprovedena na pružnim prelazima u Republici Srbiji takođe ukazuju na značaj geometrijskih karakteristika i preglednosti u proceni stanja i bezbednosti ovih lokacija [2].

Primena geografskih informacionih sistema omogućava da se prostorni odnosi u zoni pružnog prelaza analiziraju sistematično i ponovljivo. Jedna od metoda pogodnih za ovu

¹⁵ CC BY-NC-ND licenca

namenu je Viewshed analiza, kojom se na osnovu digitalnog modela visina i definisanog položaja posmatrača izdvajaju vidljivi i nevidljivi delovi prostora. Savremena istraživanja pokazuju da kombinovanje visinskih podataka i geoprостornih analiza može biti korišćeno za kvantitativnu procenu preglednosti na ukrštanjima puta i železničke pruge [3].

Cilj rada jeste ispitivanje mogućnosti primene GIS alata za analizu prostorne preglednosti u zoni pružnih prelaza. Analiza je sprovedena na pružnim prelazima Orlovat 1 i Medveđa, primenom digitalnog modela visina i geoprостornih podataka o putnoj i železničkoj infrastrukturi. Dobijeni rezultati korišćeni su za poređenje uslova vidljivosti na odabranim lokacijama i identifikovanje prostornih ograničenja koja mogu zahtevati detaljniju terensku proveru.

2 PODACI I METODOLOGIJA

Analiza je sprovedena na dva pružna prelaza na mreži državnih puteva Republike Srbije – Orlovat 1 i Medveđa koji su odabrani kao ogledni primer usled različitih prostornih i topografskih uslova. Podaci o geometriji državnih puteva i lokaciji pružnih prelaza preuzeti su iz geoprостorne baze Puteva Srbije [4]. Podaci o železničkim prugama preuzeti iz Open Street Map otvorene baze podataka [5]. Kao visinska osnova korišćen je Copernicus GLO-30, preuzet putem platforme OpenTopography. GLO-30 predstavlja digitalni model površine (DSM) nominalne prostorne rezolucije 30 m [6]. Svi podaci reprojektovani su u koordinatni sistem WGS 84 / UTM zone 34N (EPSG:32634), kako bi se prostorne udaljenosti i parametri analize izražavali u metrima.

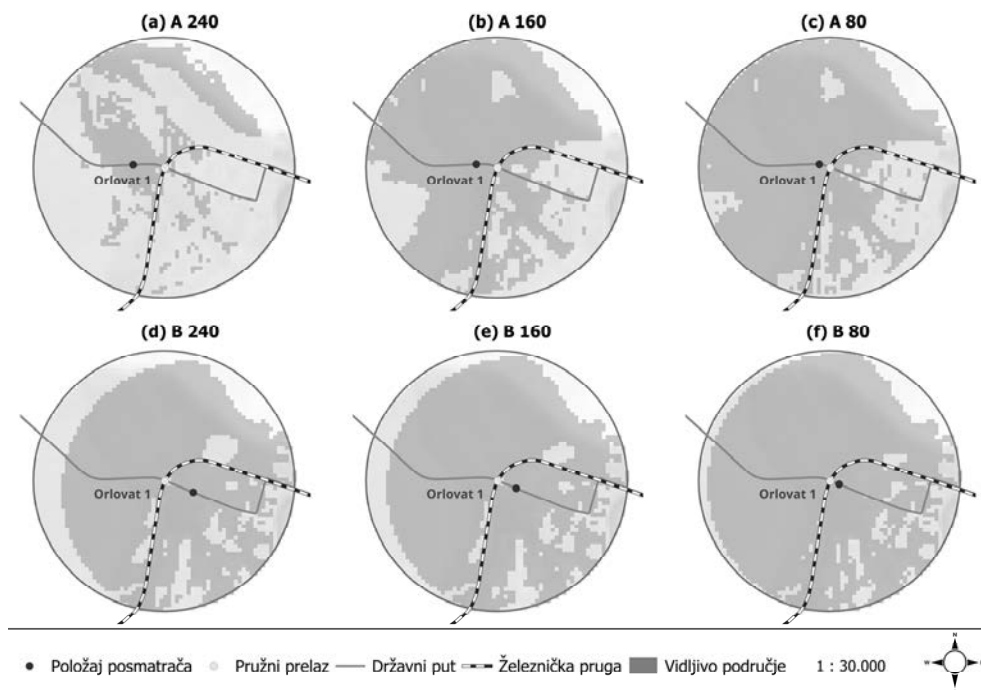
Obrada podataka i geoprостorna analiza sprovedene su u softveru QGIS 3.44. Primenjena je Viewshed analiza koja se zasniva na analizi linije vidljivosti između posmatrača i posmatranog cilja, uzimajući u obzir objekte ili elemente površine koji mogu zakloniti pogled [7]. Na oba prilazna pravca puta pružnom prelazu definisana su tri položaja posmatrača iz vozila, na udaljenostima 80, 160 i 240 m od pružnog prelaza. Za svaki od šest položaja sprovedena je Viewshed analiza sa visinom posmatrača od 1,2 m, ciljnou visinom od 0 m i maksimalnou udaljenošću analize od 1.000 m.

Viewshed analizou prostorni obuhvat analize klasifikovan je na vidljive i nevidljive ćelije digitalnog modela površina (DSM) u odnosu na položaj posmatrača (vozača).

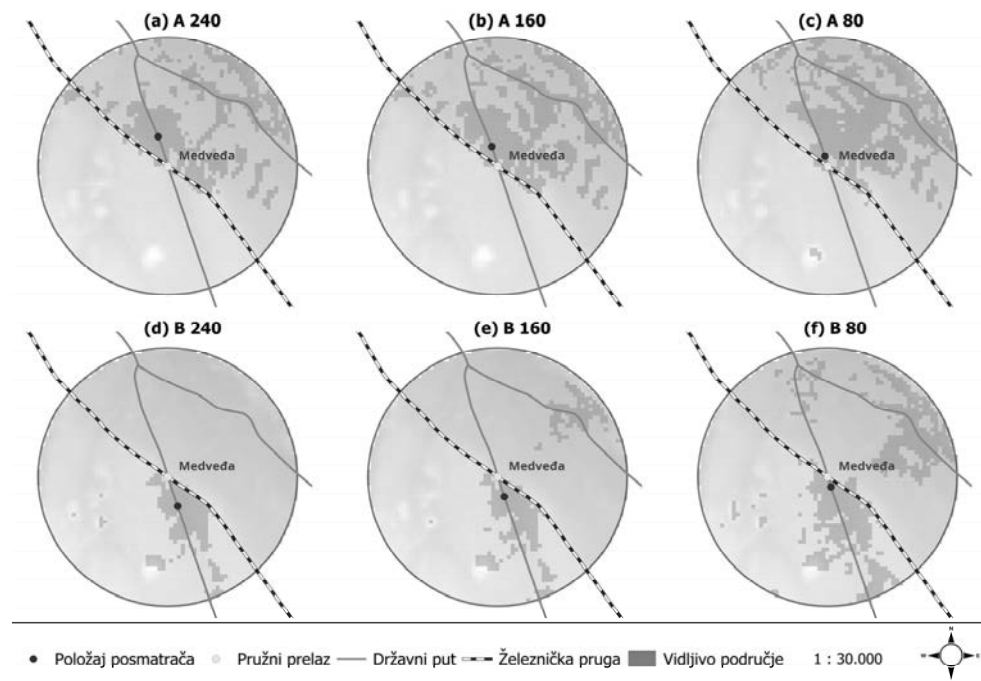
U cilju kvantifikovanja rezultata, duž železničke pruge formirane su kontrolne tačke na svakih 30 m, do udaljenosti od 300 m sa obe strane prelaza, odnosno ukupno 20 tačaka po lokaciji. Za svaki Viewshed (6 po pružnom prelazu) očitana je vrednost u kontrolnim tačkama (vidljiva/nevidljiva). Na osnovu broja vidljivih tačaka izračunat je njihov udeo za svaki položaj posmatrača, posebno po krakovima pruge i ukupno.

3 REZULTATI

Rezultati Viewshed analize ukazuju na izražene razlike u uslovima prostorne preglednosti između analiziranih pružnih prelaza. Na prelazu Orlovat 1 sama tačka pružnog prelaza bila je vidljiva iz svih šest položaja posmatrača, dok je na prelazu Medveđa prelaz bio vidljiv iz sva tri položaja pravca A, ali ne i iz položaja B 80, B 160 i B 240. Prostorna raspodela vidljivih područja za pojedinačne položaje posmatrača za prelaz Orlovat 1 može se videti na slici 1, a za prelaz Medveđa na slici 2, takođe podaci se mogu videti i u tabeli 1.



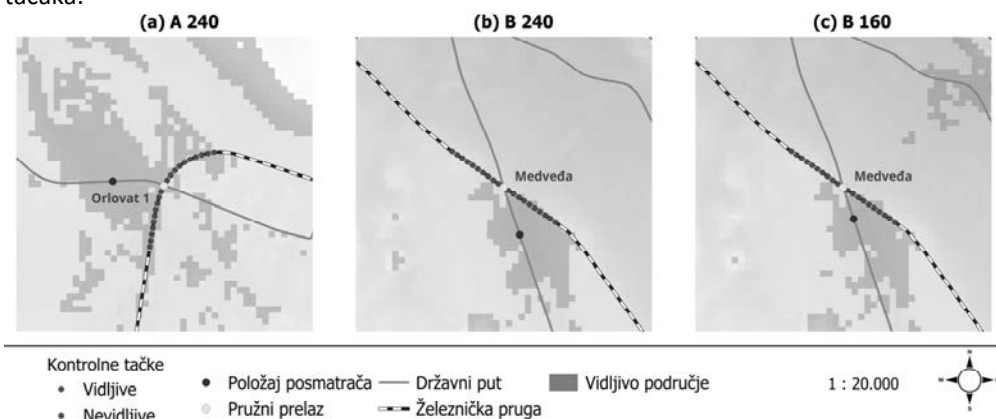
Slika 1: Rezultati analize vidljivosti na pružnom prelazu Orlovat 1 iz šest položaja posmatrača, sa sadatom ciljanom visinom od 0 metara



Slika 2: Rezultati analize vidljivosti na pružnom prelazu Medveđa iz šest položaja posmatrača, sa zatom ciljanom visinom od 0 metara

Analizom kontrolnih tačaka duž železničke pruge uočene su značajne razlike između ova dva pružna prelaza (tabela 1). Na prelazu Orlovat 1 potpuna vidljivost svih 20 kontrolnih tačaka ostvarena je iz pet od šest položaja. Odstupanje je zabeleženo samo iz položaja A 240, iz kojeg je bilo vidljivo 15 od 20 tačaka (75%). Analiza po krakovima pokazala je da je na jednom kraku iz ovog položaja bilo vidljivo 50% kontrolnih tačaka, dok je drugi krak bio u potpunosti vidljiv (slika 3 a).

Na prelazu Medveđa utvrđena su znatno izraženija ograničenja preglednosti. Udeo vidljivih kontrolnih tačaka kretao se od 35% do 75%, u zavisnosti od položaja posmatrača. Najpovoljniji rezultat ostvaren je iz položaja A 240, sa 15 od 20 vidljivih tačaka (75%), dok su najnepovoljniji rezultati dobijeni iz položaja B 160 i B 240 (slika 3 b i c), iz kojih je bilo vidljivo samo 7 od 20 kontrolnih tačaka (35%). U oba slučaja na jednom kraku železničke pruge nije bila vidljiva nijedna kontrolna tačka, dok je na drugom kraku bilo vidljivo 70% tačaka.



Slika 3: Vidljivost kontrolnih tačaka duž železničke pruge na prelazima Orlovat 1 i Medveđa za odabrane položaje posmatrača, sa zadanom ciljanom visinom od 0 m

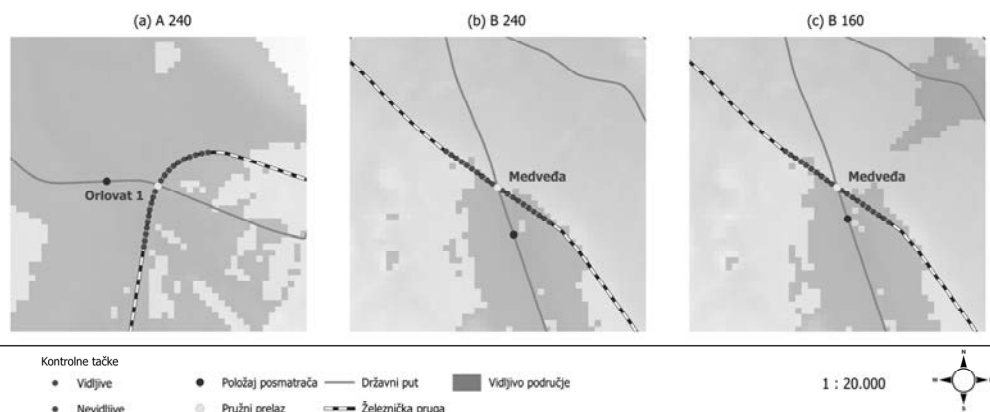
Dobijeni rezultati pokazuju da vidljivost same tačke pružnog prelaza ne mora istovremeno podrazumevati i potpunu preglednost železničke pruge u njegovom neposrednom okruženju. To je naročito uočljivo na primeru Orlovata 1 iz položaja A 240, gde je prelaz vidljiv, dok je na jednom kraku pruge vidljivo svega 50% analiziranih kontrolnih tačaka.

Tabela 1: Rezultati Viewshed analize pri zadanjoj ciljanjoj visini od 0 m

Pružni prelaz	Položaj posmatrača	Vidljivost tačke prelaza	Krak 1 - vidljive kontrolne tačke	Krak 2 - vidljive kontrolne tačke	Ukupno vidljive kontrolne tačke
Orlovat 1	A 240	Vidljiva	5/10 (50%)	10/10 (100%)	15/20 (75%)
	A 160	Vidljiva	10/10 (100%)	10/10 (100%)	20/20 (100%)
	A 80	Vidljiva	10/10 (100%)	10/10 (100%)	20/20 (100%)
	B 80	Vidljiva	10/10 (100%)	10/10 (100%)	20/20 (100%)
	B 160	Vidljiva	10/10 (100%)	10/10 (100%)	20/20 (100%)
	B 240	Vidljiva	10/10 (100%)	10/10 (100%)	20/20 (100%)

Medveđa	A 240	Vidljiva	7/10 (70%)	8/10 (80%)	15/20 (75%)
	A 160	Vidljiva	5/10 (50%)	8/10 (80%)	13/20 (65%)
	A 80	Vidljiva	5/10 (50%)	8/10 (80%)	13/20 (65%)
	B 80	Nije vidljiva	5/10 (50%)	8/10 (80%)	13/20 (65%)
	B 160	Nije vidljiva	0/10 (0%)	7/10 (70%)	7/20 (35%)
	B 240	Nije vidljiva	0/10 (0%)	7/10 (70%)	7/20 (35%)

U radu je dodatno sprovedena provera osetljivosti rezultata na ciljanu visinu, pri čemu je za prethodno dobijene najnepovoljnije rezultate za oba pružna prelaza (Orlovat 1 – A 240, Medveđa B 240 i B 160) ciljana visina povećana sa 0 na 1,5 m. Na lokaciji Orlovat 1, iz položaja A 240, udeo vidljivih kontrolnih tačaka povećan je sa 75% na 100%. Na lokaciji Medveđa, iz položaja B 160 i B 240, ukupan udeo vidljivih kontrolnih tačaka povećan je sa 35% na 65%. Ipak, i pored poboljšanja rezultata, tačka pružnog prelaza iz ovih položaja i dalje nije bila vidljiva (slika 4).



Slika 4: Vidljivost kontrolnih tačaka duž železničke pruge na prelazima Orlovat 1 i Medveđa za odabrane položaje posmatrača, sa zadatom ciljanom visinom od 1,5 m

4 DISKUSIJA

Dobijeni rezultati pokazuju da se uslovi prostorne preglednosti mogu značajno razlikovati između pojedinih pružnih prelaza i između različitih prilaznih pravaca istog prelaza. Kod prelaza Orlovat 1 utvrđeni su pretežno povoljni uslovi preglednosti, dok su kod prelaza Medveđa utvrđena izraženija ograničenja, posebno sa prilaznog pravca B. Rezultati takođe pokazuju da sama vidljivost tačke pružnog prelaza ne mora podrazumevati i potpunu preglednost železničke pruge u njegovom neposrednom okruženju.

Viewshed analiza pokazala se kao koristan alat za preliminarno sagledavanje prostorne preglednosti, jer omogućava vizuelizaciju promena vidljivosti pri približavanju pružnom prelazu. Prednost ove analize je mogućnost primene jedinstvene metodologije na više pružnih prelaza, što može biti značajno prilikom početnog izdvajanja prelaza koji zahtevaju detaljniju analizu. Takođe, promenom vrednosti visine posmatrača i ciljane visine menja se geometrija linije vidljivosti između posmatrača i cilja, pa se u zavisnosti od

konfiguracije terena i položaja prepreka mogu dobiti različiti rezultati. Zbog toga je pri tumačenju Viewshed analize važno jasno definisati i obrazložiti usvojene parametre.

Kako je u analizi korišćen Copernicus GLO-30 digitalni model površine (DSM), nominalne prostorne rezolucije 30 m, pojedinačna stabla, ograde, stubovi, saobraćajna signalizacija i manji objekti nisu potpuno pouzdano predstavljeni u modelu, iako mogu značajno uticati na stvarnu preglednost. Zbog toga rezultate treba tumačiti kao preliminarnu prostornu procenu, a ne kao zamenu za terenska merenja i proveru stvarnog stanja. Njihova najveća vrednost ogleda se u identifikaciji potencijalno problematičnih lokacija i usmeravanju detaljnijih analiza.

Dodatno unapređenje metodologije moguće je primenom modela površine veće rezolucije, LiDAR podataka i detaljnijih podataka o objektima i vegetaciji, čime bi se omogućilo preciznije modelovanje prepreka i procena uslova vidljivosti.

5 ZAKLJUČAK

Sprovedena analiza pokazala je da GIS alati i Viewshed analiza mogu pružiti korisnu preliminarnu procenu prostorne preglednosti u zoni pružnih prelaza. Cilj rada je realizovan kroz identifikovanje uslova vidljivosti, pri čemu je Orlovat 1 pokazao pretežno povoljne uslove, dok su na Medveđi utvrđena izraženija ograničenja, posebno sa prilaznog pravca B. Predloženi pristup može poslužiti za identifikaciju potencijalno problematičnih lokacija i prepoznavanje potrebe za sprovođenje detaljnijih terenskih analiza.

LITERATURA

- [1] Zakon o železnici („Sl.glasnik RS“, br. 41/2018 i 62/2023)
- [2] Agencija za bezbednost saobraćaja (2018.).Istraživanje stanja bezbednosti saobraćaja u zonama pružnih prelaza. Beograd.
- [3] Naghdi, M., Lautala, P. T., Erfani, A. (2024). Assessing visibility at highway-rail grade crossings using light detection and ranging (LiDAR) technology. *Heliyon*, 10(22), e40347. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e40347.
- [4] Baza podataka o pružnim prelazima – Putevi Srbije (2026.) Stanje na dan 01.08.2026.
- [5] OpenStreetMap contributors. OpenStreetMap. Open Database License (ODbL). Dostupno na: OpenStreetMap, Stanje na dan 01.08.2026.
- [6] European Space Agency / Airbus Defence and Space. Copernicus DEM – Global and European Digital Elevation Model (GLO-30). Dostupno na: OpenTopography, Stanje na dan 01.08.2026.
- [7] Ren, L., Cao, Y. (2021). GIS-Based Viewshed Analysis on the Conservation Planning of Historic Towns: The Case Study of Xinchang, Shanghai. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVI-M-1-2021, 609–616. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-M-1-2021-609-2021>.

SUMMARY

Application of GIS Methods for Spatial Visibility Analysis in Railway Level Crossing Zones

Abstract: The safety of railway level crossings represents a significant challenge in transport infrastructure management, particularly at locations where limited visibility may affect the timely response of road users. Traditional methods for assessing visibility are often based on field inspections and subjective evaluations, which may limit the possibility of systematically analysing a larger number of locations.

This paper presents the application of Geographic Information Systems (GIS) and visibility analysis (Viewshed/Visibility Analysis) for assessing visibility conditions at railway level crossings from the perspective of road vehicle drivers. The methodology involves the use of a digital elevation model, geospatial data on road infrastructure, and railway level crossing locations. The analysis assesses crossing visibility in relation to distance, road geometry, and potential spatial obstacles.

The proposed approach contributes to a more objective safety assessment and may provide support in the planning, maintenance, and management of transport infrastructure.

Key words: GIS, Viewshed analysis, railway level crossings, traffic safety, road infrastructure.

Okrugli sto

***Preticajna preglednost i
preglednost za bezbedno
preticanje***

Теоријске разлике између претицајне прегледности и прегледности за безбедно претицање према прописима Републике Србије

Боривоје Алексић, С ПРОЈЕКТ ДОО, Београд, bora@s-projekt.rs

Марија Живадиновић, С ПРОЈЕКТ ДОО, Београд, maja@s-projekt.rs

Лазар Савковић, С ПРОЈЕКТ ДОО, Београд, lazar@s-projekt.rs

Урош Алексић, С ПРОЈЕКТ ДОО, Београд, uros@s-projekt.rs

Резиме: У важећим прописима Републике Србије примењују се два различита приступа анализи прегледности при претицању на двотрачним путевима за двосмерни саобраћај: Претицајна прегледност (P_r), која се примењује у геометријском пројектовању путева, и Прегледност за безбедно претицање (L_r), која се примењује у саобраћајном пројектовању при одређивању разделних линија за безбедно претицање. Циљ рада је да се идентификују теоријске и прорачунске разлике између ова два модела, квантификује њихов утицај на потребне дужине прегледности и размотри могућност непосредног изједначавања њихових вредности, параметара и критеријума. Кључна разлика произлази из различито дефинисаног меродавног случаја: код P_r примењује се критеријум да је брзина претицаног возила = брзини долазећег возила ($V_2 = V_3 = V_r$), који произлази из захтева геометријског пројектовања и обезбеђивања једнаких услова кретања возила из оба смера, док се код L_r примењује критеријум да је брзина претичућег возила = брзини долазећег возила ($V_1 = V_3$), при чему је $V_2 < V_1$, који произлази из услова самог маневра претицања. Квантитативна анализа за брзине од 40 до 100 km/h показала је да су за $\Delta V = 20$ km/h вредности L_r ниже од P_r од -18% до -62%, док се за $\Delta V = 15$ km/h релативна разлика креће од -44% до +14%, при чему се смер разлике мења при већим брзинама. Резултати показују да P_r и L_r нису међусобно заменљиве величине и да непосредно изједначавање њихових вредности, параметара и критеријума није могуће у оквиру постојећих теоријских основа.

Кључне речи: прегледност за безбедно претицање, претицајна прегледност, теоријске разлике, пројектовање путева, саобраћајно пројектовање

1 УВОД

У стручним круговима грађевинске и саобраћајне струке постоје дилеме који су разлози за постојање разлике између два правилника ових струка по питању одређивања дужине прегледности на путу са аспекта претицања.

Актуелно је и питање да ли треба изједначити оба правилника по питању прегледности које се односи на претицање.

Законска основа да грађевинска струка примењује ПРЕТИЦАЈНУ ПРЕГЛЕДНОСТ (P_r) је "Правилник о условима које са аспекта безбедности саобраћаја морају да

испуњавају путни објекти и други елементи јавног пута" (Сл. гласник РС број 50/11, тачка 4.3. Претицајна прегледност (Pr), табела 4-02: Потребне дужине претицајне прегледности).

Законска основа да саобраћајна струка примењује ПРЕГЛЕДНОСТИ ЗА БЕЗБЕДНО ПРЕТИЦАЊЕ је "Правилник о саобраћајној сигнализацији" (Сл. гласник РС број 85/17, 14/21, 21/24 и 76/26, Прилог 6: "Аналитички поступак прорачуна дужина разделних линија за безбедно претицање у функцији брзина").

Ранија иницијатива да се изједначе вредности ПРЕТИЦАЈНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ (Pr) које примењује грађевинска струка са вредностима ПРЕГЛЕДНОСТИ ЗА БЕЗБЕДНО ПРЕТИЦАЊЕ које примењује саобраћајна струка је додатни разлог за сагледавање реалних могућности да се два правилника изједначе по питању прегледности са аспекта претицања возила у саобраћајном току.

Циљ рада је да се идентификују теоријске и прорачунске разлике између Претицајне прегледности (Pr) према пропису којим се уређују елементи пута и Прегледности за безбедно претицање (Lp) према пропису којим се уређује саобраћајна сигнализација, да се квантификује њихов утицај на прорачунате дужине у функцији брзине и размотри могућност непосредног изједначавања вредности, параметара и критеријума два модела у пројектантској пракси.

Проблематика прегледности за безбедно претицање разматрана је у претходним истраживањима аутора кроз дефинисање методолошког поступка одређивања прегледности на двотрачним путевима за двосмерни саобраћај [5], његову практичну примену на постојећој деоници државног пута [4], анализу резултата добијених применом различитих методолошких поступака [7], као и кроз сагледавање улоге прегледности за безбедно претицање у поступку пројектовања разделне линије [6]. У претходном истраживању аутора систематизоване су и теоријске разлике између претицајне прегледности (Pr) и прегледности за безбедно претицање (Lp) [8]. Полазећи од тих резултата, у овом раду истраживање је проширено квантитативним поређењем вредности Pr и Lp у функцији брзине и анализом последица различитих полазних претпоставки два прорачунска поступка.

Разлике између модела прегледности за претицање који се примењују за потребе геометријског пројектовања и критеријума који се користе за одређивање зона дозвољеног и забрањеног претицања нису специфичне само за домаћу регулативу. У међународној литератури развијен је већи број модела "passing sight distance" (PSD), чији се резултати разликују услед различитих претпоставки о брзинама возила, трајању маневра, положају возила и могућности завршетка или прекида започетог претицања [9–13]. NCHRP Report 605 посебно разматра питање усклађивања критеријума прегледности који се примењују у геометријском пројектовању са критеријумима који се користе при одређивању ознака на коловозу [9]. Истраживања заснована на теренским посматрањима такође показују да различите моделске претпоставке могу резултирати различитим потребним дужинама прегледности [11, 12].

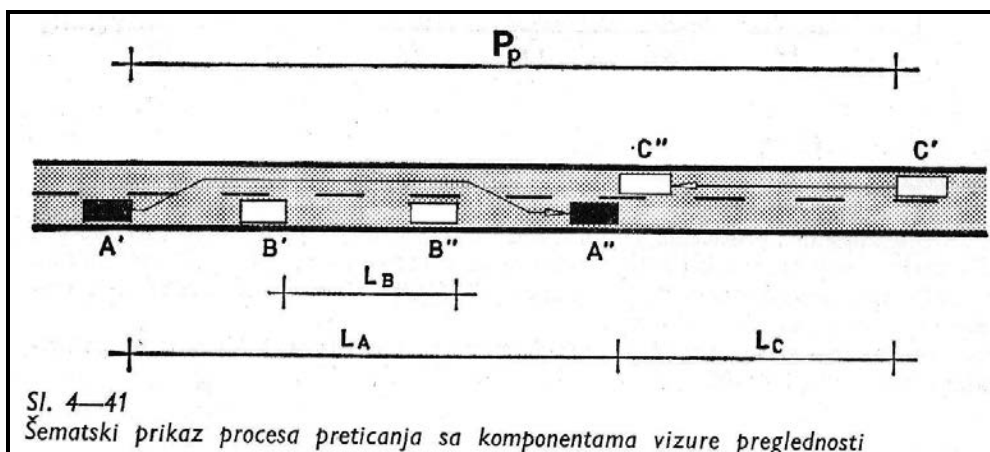
Рад садржи следеће функционалне целине:

- Претицајна прегледност (грађевински аспект)
- Прегледност за безбедно претицање (саобраћајни аспект)

- Теоријске разлике између претицајне прегледности и прегледности за безбедно претицање на основу важећих правилника
- Разлике у дужинама прегледности између важећих правилника као резултат теоријских разлика између претицајне прегледности и прегледности за безбедно претицање
- Место и улога наведених врста прегледности у путном инжењерству
- Утицај теоријских разлика између наведених врста прегледности на безбедност саобраћаја.
- Закључак

2 ПРЕТИЦАЈНА ПРЕГЛЕДНОСТ

На доњем цртежу је шематски приказ процес претицања који је преузет из уџбеника "Пројектовање путева", аутора Катанић, Анђус, Малетин, 1983. год., стр.189, тачка 4.1.6.2. Претицајна прегледност.



Слика 1: Графички цртеж сл.4-41 из уџбеника Пројектовање путева – Катанић, Анђус и Малетин, 1983. год.

При чему је:

- A - возило које врши претицање (претичуће возило)
- B - возило које се претиче (претицано возило)
- C - возило које из супротног смера долази у сусрет (долазеће возило)
- V_A - брзина претичућег возила
- V_B - брзина претицаног возила
- V_C - брзина возила које из супротног смера долази у сусрет
- V_r - рачунска брзина
- P_p - дужина претицања (Дужина визуре претицајне прегледности)
- L_A - пређени пут претичућег возила
- L_B - пређени пут претицаног возила
- L_C - пређени пут долазећег возила

ΔL - "вишак пута" претичућег возила

t - укупно време претицања

Δv - разлика брзина (m/s)

ΔV - разлика брзина (km/h)

Из наведеног уџбеника (стр. 189 и 190) наведени су обрасци за прорачун претицајне прегледности:

$$V_B = V_C = V_T; \quad \Delta L = L_A - L_B; \quad t = \frac{\Delta L}{\Delta v} = 3.6 \cdot \Delta L / \Delta V$$

$$P_p = \Delta L + L_B + L_C; \quad \Delta L = t \cdot \frac{\Delta V}{3.6}; \quad L_B = L_C = t \cdot \frac{V_T}{3.6}$$

$$P_p = \frac{t}{3.6} \cdot (2 \cdot V_T + \Delta V) \text{ (m)}$$

У наведеном уџбенику (стр.190) указује се: "у изразу за P_p непозната је величина t ". Наведено је и следеће "Истраживањима је утврђено да се за просечне разлике брзина $\Delta V = 15 \text{ km/h}$ претицање појединачног возила нормално може обавити за $t = 10 \text{ sec}$."

Такође је на истој страни у цитираном уџбенику наведено "Потребне дужине визура претицајне прегледности за $t = 10 \text{ sec}$ и $\Delta V = 15 \text{ km/h}$ приказане су у табели 4-05."

Табела 1: Табела Т. 4-05 преузета из уџбеника "Пројектовање путева" из 1983. године

$V_T \text{ [km/h]}$	40	50	60	70	80	90	100
$P_p \text{ [m]}$	260	320	370	430	480	540	600

Идентичну табелу, као што је горе наведена табела Т-4.05, **садржи Правилник о условима које са аспекта безбедности саобраћаја морају да испуњавају путни објекти и други елементи јавног пута** (Сл. гласник РС број 50/11), у тачки 4.3, Табела 4-02.

Цитирамо тачку 4.3. Претицајна прегледност, горе наведеног Правилника (Сл. гласник РС број 50/11):

4.3. Претицајна прегледност

Због разлика у брзинама кретања возила, на путевима постоји потреба за претицањем. У табели 4-02 овог прилога дате су вредности претицајне прегледности за двотрачне путеве:

Табела 2: Табела 4-02: Потребне дужине претицајне прегледности

$V_T \text{ [km/h]}$	40	50	60	70	80	90	100
$P_p \text{ [m]}$	260	320	370	430	480	540	600

3 ПРЕГЛЕДНОСТ ЗА БЕЗБЕДНО ПРЕТИЦАЊЕ

Прегледност за безбедно претицање аутори овог рада су дефинисали на следећи начин:

ПРЕГЛЕДНОСТ ЗА БЕЗБЕДНО ПРЕТИЦАЊЕ дуж двотрачног пута за двосмерни саобраћај, са аспекта услова одвијања саобраћаја, подразумева **АНАЛИТИЧКИ ПОСТУПАК** одређивања одсека пута дуж којег постоји могућност међусобног уочавања два у сусрет наилазећа возила са аспекта отклоњених непокретних физичких сметњи (препрека), дуж којег нема осталих ограничења која могу да утичу на забрану претицања и који је дужи од теоријски потребне дужине за извршење маневра безбедног претицања у функцији брзина.

Методологија одређивања прегледности за безбедно претицање развијана је и проверавана у претходним истраживањима аутора [4–7]. У тим истраживањима разматране су потенцијална, реална, потребна и дозвољена прегледност, примена поступка на постојећем двотрачном путу, као и употреба резултата анализе при пројектовању разделне линије.

Аналитички поступак прорачуна дужине прегледности за безбедно претицање врши се применом следећих фаза рада [4–7]:

- (1) Дефинисање критеријума за одређивање зоне посматрања физичких сметњи у подручјима Хоризонталних и Вертикалних кривина
- (2) Анализа достигнутих саобраћајних токова и одређивање меродавног случаја претицања два возила
- (3) Прикупљање података о техничко-експлоатационим карактеристикама пута релевантним за анализу прегледности за безбедно претицање
- (4) Прикупљање података о ТАЧКАМА ОТВАРАЊА ПОТЕНЦИЈАЛНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ ЗА БЕЗБЕДНО ПРЕТИЦАЊЕ
- (5) Одређивање одсека ПОТЕНЦИЈАЛНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ, одсека пута дуж којих постоји могућност међусобног виђења два у сусрет наилазећа возила
- (6) Одређивање одсека РЕАЛНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ, одсека пута дуж којих нема осталих ограничења која могу да утичу на забрану претицања за моторна возила
- (7) Одређивање одсека ПОТРЕБНЕ (теоријске) ПРЕГЛЕДНОСТИ, одсека одређених на бази техничко-експлоатационих карактеристика пута, са минималном дужином која је потребна за безбедно претицање
- (8) Одређивање одсека ДОЗВОЉЕНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ, одсека пута дуж којих је дозвољено претицање
- (9) Резултат поступка прорачуна потребне дужине прегледности за безбедно претицање

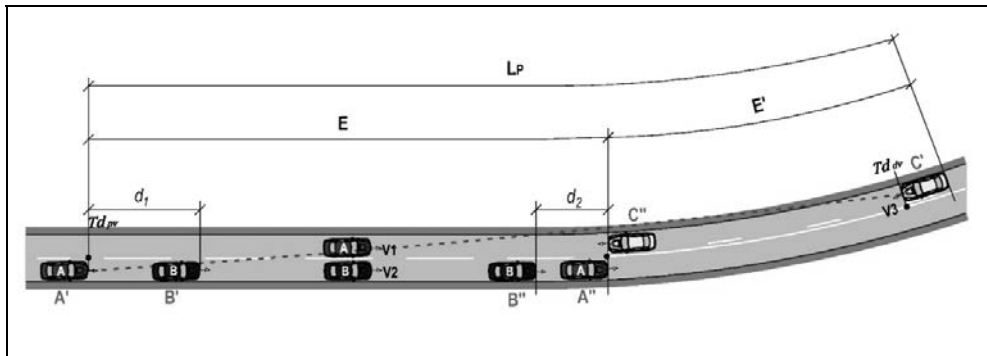
Циљ примене аналитичког поступка одређивања прегледности за безбедно претицање дуж двотрачног пута за двосмерни саобраћај са аспекта услова одвијања саобраћаја је Прорачун дужине прегледности за безбедно претицање.

3.1 Поступак прорачуна потребне дужине прегледности за безбедно претицање на двотрачном путу за двосмерни саобраћај (L_p)

Теоријска основа поступка прорачуна L_p и његова примена у одређивању зона безбедног претицања детаљније су приказани у претходним истраживањима аутора

[4–8]. У овом раду приказани су они елементи модела који су непосредно релевантни за упоредну анализу са претицајном прегледношћу Рр.

На наредном цртежу приказан је положај претичућег возила (А), претицаног возила (В) и долазећег возила (С) пре претицања (положај I) и после завршеног претицања (положај II).



Слика 2: Дужина прегледности за безбедно претицање (L_p)

$$E = V_1 \cdot t = V_2 \cdot t + d_1 + d_2$$

$$t = \frac{d_1 + d_2}{V_1 - V_2}$$

$$E = \frac{V_1 \cdot (d_1 + d_2)}{V_1 - V_2}$$

$$E' = V_3 \cdot t;$$

$$E' = \frac{V_3 \cdot (d_1 + d_2)}{V_1 - V_2}$$

Дужина прегледности за безбедно претицање (L_p) је:

$$L_p = E + E';$$

$$L_p = \frac{(d_1 + d_2)}{V_1 - V_2} \cdot (V_1 + V_3)$$

Уколико структура саобраћајног тока омогућава да је исто репрезентативно возило престижуће, престизано и у сусрет долазеће возило ($L_{v1} = L_{v2} = L_v$), и ако се пође од у пракси уобичајене претпоставке да је размак између претицаног и претичућег возила пре и после претицања исти ($d_1 = d_2 = d$) тада су:

$$E = \frac{2 \cdot d \cdot V_1}{V_1 - V_2}$$

$$E' = \frac{2 \cdot d \cdot V_3}{V_1 - V_2}$$

$$L_p = E + E'$$

$$L_p = \frac{2 \cdot d}{V_1 - V_2} \cdot (V_1 + V_3)$$

При чему је:

А - возило које врши претицање (претичуће возило)

В - возило које се претиче (претицано возило)

С - возило које из супротног смера долази у сусрет (долазеће возило)

Td_{pv} - тачка догледања претичућег возила (крајња тачка од које претичуће возило види долазеће возило и може да започне претицање)

Td_{dv} - тачка догледања долазећег возила (тачка од које долазеће возило види претичуће возило и може да започне претицање)

L_p - потребна дужина прегледности за безбедно претицање (m)

E - потребно растојање за извршење претицања (дужина линије упозорења у пројектовању) (m)

E' - потребно растојање које може да пређе возило које се креће у супротном смеру (дужина комбиноване или неискривљене линије у пројектовању) (m)

t - потребно време за извршење претицања

V_1 - брзина претичућег возила ($\frac{km}{h}$)

V_2 - брзина претицаног возила ($\frac{km}{h}$)

V_3 - брзина долазећег возила ($\frac{km}{h}$)

d_1 - растојање између претицаног и претичућег возила пре претицања (m)

d_2 - растојање између претицаног и претичућег возила после претицања (m)

d - растојање између претицаног и претичућег возила (m)

L_{v1} - дужина возила 1 (возила A) (m)

L_{v2} - дужина возила 2 (возила B) (m)

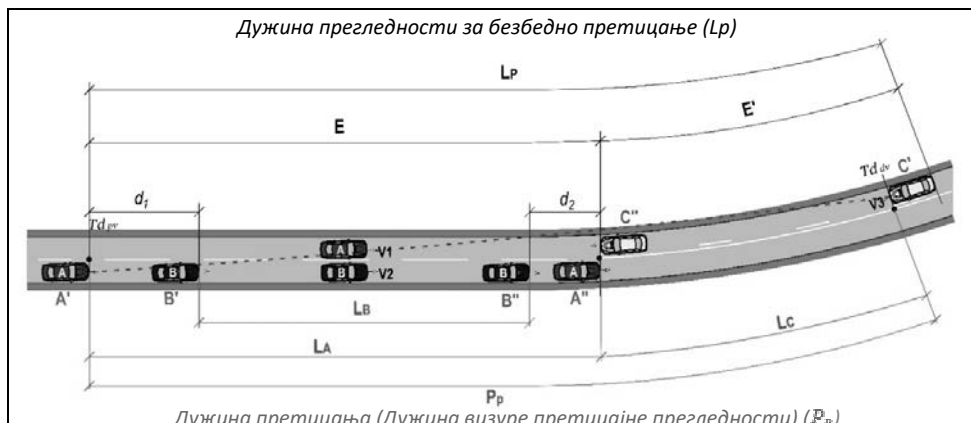
L_v - дужина возила (m)

I - положај претичућег, претицаног и долазећег возила пре претицања

II - положај претичућег, претицаног и долазећег возила после претицања

4 ТЕОРИЈСКЕ РАЗЛИКЕ ИЗМЕЂУ ПРЕТИЦАЈНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ И ПРЕГЛЕДНОСТИ ЗА БЕЗБЕДНО ПРЕТИЦАЊЕ НА ОСНОВУ ВАЖЕЋИХ ПРОПИСА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

На наредном цртежу дат је упоредни приказ елемената релевантних за анализу предметних прегледности садржаних у оба Правилника.



Слика 3: Упоредни приказ аналитичког поступка Претицајне прегледности и Прегледности за безбедно претицање

Теоријске разлике између претицајне прегледности (Pr) и прегледности за безбедно претицање (Lp) претходно су идентификоване и систематизоване у раду Aleksić et al. [8]. У овом раду наведене разлике представљају полазну основу за њихово даље квантитативно разматрање и анализу величине одступања Pr и Lp у функцији брзине.

Обе врсте разматраних прегледности имају заједничку општу кинематичку основу засновану на кретању возила током маневра претицања, прорачуну потребног растојања за извршење маневра и одређивању потребних међусобних растојања возила:

- прорачуну потребног растојања за извршење маневра претицања (E), полазећи од једначине: $E = V_1 \cdot t = V_2 \cdot t + d_1 + d_2$
- прорачуну безбедног растојања између два возила у саобраћају (d_{br}), полазећи од теоријског обрасца: $d_{br} = v \cdot t_{ur} + L_v$

Међутим, модели Pr и Lp разликују се већ на нивоу формирања меродавног случаја и намене прорачуна.

Разлике између Правилника настају у практичној примени наведених полазних образаца. Разлике су сасвим разумљиве и у функцији су практичне примене предметних прегледности у путном инжењерству.

Код Pr меродавни случај произилази из захтева геометријског пројектовања пута и обезбеђивања идентичних услова кретања возила из оба смера, док код Lp меродавни случај произилази из услова конкретног маневра претицања у саобраћајном току. Због тога разлике између два модела нису само последица различитих нумеричких вредности параметара, већ различитих критеријума њиховог формирања и практичне намене резултата.

Табела 3: Упоредни приказ Теоријских разлика између два Правилника

Разлике између Правилника	
Правилник о условима које са аспекта безбедности саобраћаја морају да испуњавају путни објекти и други елементи јавног пута (Сл. гласник РС број 50/11)	Правилник о саобраћајној сигнализацији (Сл. гласник РС број 85/17, 14/21, 21/24 и 76/26)
Критеријум једнаких брзина кретања возила у саобраћајном току при претицању:	Критеријум једнаких брзина кретања возила у саобраћајном току при претицању:
$V_B = V_C = V_r \quad (V_2 = V_3)$	$V_A = V_C \quad (V_1 = V_3)$
Брзина претицаног возила = Брзина долазећег возила = Рачунска брзина	Брзина претичућег возила = Брзина долазећег возила
Разлика брзина претицаног и претичућег возила: $\Delta V = 15 \frac{km}{h}$	Разлика брзина претицаног и претичућег возила: $\Delta V = V_1 - V_2$ = f(elementi puta, karakter terena)
Укупно време претицања: t – 10 s	Потребно време за извршење претицања: t – f(saobraćajnog toka i brzina)

Растојање између претицаног и претичућег возила:	Растојање између претицаног и претичућег возила:
$\Delta L = \frac{t}{3.6} \cdot \Delta V$	$d = 0.2 \cdot V_2 + L_{V1} + L_{V2}$
$\Delta L = 2 \times d$	за $L_{V1} = L_{V2}$
$d = 0.2 \cdot V_B + L_V$	$d = 0.2 \cdot V_2 + 2 \cdot L_V$
Резултат:	Резултат:
Дужина претицања (Дужина визуре претицајне прегледности) (P_P)	Дужина прегледности за безбедно претицање (L_P)

Кључна разлика између модела P_P и L_P огледа се у критеријуму једнаких брзина. Код P_P полази се од услова $V_2 = V_3 = V_r$, односно од тога да се претицано и долазеће возило крећу рачунском брзином. Такав критеријум произилази из захтева геометријског пројектовања да се обезбеде идентични услови кретања возила из оба смера.

Код L_P меродавни саобраћајни случај дефинисан је условом $V_1 = V_3$, односно претичуће и долазеће возило крећу се истом меродавном брзином, док се претицано возило V_2 креће мањом брзином. Овај критеријум описује однос брзина возила релевантан за извршење маневра претицања.

Због различите улоге возила и критеријума брзина у два модела, непосредно изједначавање њихових параметара не би представљало само измену нумеричких вредности, већ би захтевало промену основне логике и меродавног случаја најмање једног од модела.

Чињеница да различите полазне претпоставке модела могу довести до различитих вредности потребне прегледности потврђена је и у међународним истраживањима. Hassan et al. [10] показују да избор модела маневра претицања и претпоставке о могућности завршетка или прекида маневра значајно утичу на захтевану PSD (енгл. *passing sight distance*). Llorca и García [11], на основу теренског посматрања маневара претицања, такође указују да различити модели дају различите вредности PSD управо због различитих полазних претпоставки.

5 РАЗЛИКЕ У ДУЖИНАМА ПРЕГЛЕДНОСТИ ИЗМЕЂУ ВАЖЕЋИХ ПРОПИСА РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ КАО РЕЗУЛТАТ ТЕОРИЈСКИХ РАЗЛИКА ИЗМЕЂУ ПРЕТИЦАЈНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ И ПРЕГЛЕДНОСТИ ЗА БЕЗБЕДНО ПРЕТИЦАЊЕ

Разлике у дужинама прегледности између два правилника су резултат различитих теоријских приступа појму прегледности грађевинске и саобраћајне струке. Следећи елементи прорачуна дужине прегледности доминантно утичу на резултате анализе:

- Критеријум једнаких брзина кретања возила у саобраћајном току при претицању;
- Разлика брзина претицаног и претичућег возила ΔV (km/h);

- Укупно време претицања односно Потребно време за извршење претицања (t).

(1) Критеријум једнаких брзина кретања возила у саобраћајном току при претицању

Са аспекта **ГРАЂЕВИНСКЕ струке** критеријум за прорачун дужине **Претицајне прегледности** (P_P): $V_R = V_C = V_r$ ($V_2 = V_3$), односно критеријум **Брзина претицаног возила = Брзина долазећег возила = Рачунска брзина**, је инжењерски сасвим логичан јер је пројектант дужан да омогући исте услове кретања за возила из оба смера вожње, односно претицаног и долазећег возила.

Са аспекта **САОБРАЋАЈНЕ струке** критеријум за прорачун дужине **Прегледности за безбедно претицање** (L_P): $V_1 = V_3$ ($V_A = V_C$), **Брзина претичућег возила = Брзина долазећег возила**, такође је сасвим логичан инжењерски јер је пројектант дужан да при прорачуну примени случај да се претичуће и долазеће возило крећу истом брзином како би се маневар претицања извршио на безбедан начин.

(2) Разлика брзина претицаног и претичућег возила (ΔV) (km/h)

У правилнику грађевинске струке разлика брзина претицаног и претичућег возила је константна величина и износи $\Delta V = 15$ (km/h).

У правилнику саобраћајне струке разлика брзина претицаног и претичућег возила је променљива величина која је функција елемената пута, карактера терена и структуре саобраћајног тока. Уколико техничко експлоатационе карактеристике пута не представљају ограничавајући фактор и уколико учешће комерцијалних возила у току не утиче на смањење експлоатационе брзине саобраћајног тока (<20% комерцијалних возила у саобраћајном току) разлика брзина износи $\Delta V = 20$ (km/h).

(3) Укупно време претицања односно Потребно време за извршење претицања (t)

У правилнику грађевинске струке укупно време претицања (t) је константна величина и износи $t = 10$ (s).

У правилнику саобраћајне струке потребно време за извршење претицања (t) је променљива величина која зависи доминантно од разлике брзина претичућег возила и претицаног возила.

На основу изнетих разлика између два правилника теоријски су могући следећи случајеви упоређивања дужина прегледности:

Табела 4: Дужине прегледности на основу два Правилника

Случај	Елементи који утичу на анализу	Вредности елемената који утичу на анализу		Напомена
		Грађевинска струка	Саобраћајна струка	
(А)	Критеријум једнаких брзина кретања возила у саобраћајном току при претицању	$V_B = V_C = V_r$ ($V_2 = V_3$)	$V_1 = V_3$ ($V_A = V_C$)	С обзиром на структуру достигнутих саобраћајних токова на мрежи јавних путева Републике Србије, критеријум $\Delta V = 20$ (km/h) је случај дефинисан аналитичким поступком
	Разлика брзина претицаног и претичућег возила (ΔV) (km/h)	$\Delta V = 15$ (km/h)	$\Delta V = 20$ (km/h)	

Случај	Елементи који утичу на анализу	Вредности елемената који утичу на анализу		Напомена
		Грађевинска струка	Саобраћајна струка	
				<u>који се најчешће примењује у пракси саобраћајне струке</u>
(Б)	Критеријум једнаких брзина кретања возила у саобраћајном току при претицању	$V_B = V_C = V_r$ ($V_2 = V_3$)	$V_1 = V_3$ ($V_4 = V_C$)	Критеријум $\Delta V = 15$ (km/h) је случај дефинисан аналитичким поступком који се ређе примењује у пракси саобраћајне струке
	Разлика брзина претицаног и претичућег возила (ΔV) (km/h)	$\Delta V = 15$ (km/h)	$\Delta V = 15$ (km/h)	
(В)	Критеријум једнаких брзина кретања возила у саобраћајном току при претицању	$V_B - V_C = V_r$ ($V_2 - V_3$)	$V_B - V_C$ ($V_2 - V_3$)	Критеријум $V_B = V_C$ ($V_2 = V_3$) Није у складу са меродавним критеријумом модела Lp, јер се применом критеријума карактеристичног за Pp мења однос брзина и улога возила у маневру претицања. Због тога овај случај није методолошки компатибилан са поступком прорачуна Lp и није разматран у даљој анализи
	Разлика брзина претицаног и претичућег возила (ΔV) (km/h)	$\Delta V = 15$ (km/h)	$\Delta V = 20$ (km/h)	
(Г)	Критеријум једнаких брзина кретања возила у саобраћајном току при претицању	$V_B = V_C = V_r$ ($V_2 = V_3$)	$V_B = V_C$ ($V_2 = V_3$)	Критеријум $V_B = V_C$ ($V_2 = V_3$) Није у складу са меродавним критеријумом модела Lp, јер се применом критеријума карактеристичног за Pp мења однос брзина и улога возила у маневру претицања. Због тога овај случај није методолошки компатибилан са поступком прорачуна Lp и није разматран у даљој анализи
	Разлика брзина претицаног и претичућег возила (ΔV) (km/h)	$\Delta V = 15$ (km/h)	$\Delta V = 15$ (km/h)	

Сходно наведеним аргументима, у даљем раду приказане су разлике у дужинама прегледности између правилника за случајеве (А) и (Б).

За разлику од претходног истраживања, у коме су разматране пре свега теоријске разлике два поступка [8], у овом раду спроведено је њихово квантитативно поређење. На тај начин се утврђује не само постојање различитих полазних претпоставки, већ и величина њиховог утицаја на резултујуће дужине прегледности у анализираном распону брзина.

Стога предмет поређења у овом раду није покушај да се два модела сведу на исти меродавни случај, већ анализа последица које различити нормативно дефинисани критеријуми имају на резултујуће дужине прегледности. Изједначавање критеријума $V_2 = V_3$ код Pp и $V_1 = V_3$ код Lp не би представљало усаглашавање једног параметра, већ промену меродавног случаја на коме је заснован један од два модела.

Полазећи од циља овог рада у наредној табели приказане су разлике у дужинама прегледности између два правилника, на основу следећих елемената поређења:

- Предмет поређења: Pp према Правилнику 50/11 и Lp према аналитичком поступку Прилога 6.
- Распон анализираних брзина: 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 km/h.
- Сценарији: $\Delta V=20$ km/h и $\Delta V=15$ km/h за Lp; $\Delta V=15$ km/h за Pp.
- Критеријуми једнаких брзина:
 - $V_B=V_C$ за Pp
 - $V_A=V_C$ за Lp
- Излазне величине:
 - дужине Pp и Lp
 - апсолутна разлика Lp–Pp
 - релативна разлика у процентима.

Релативна разлика између два поступка израчуната је према изразу:

$$\delta = (L_p - P_p) / P_p \cdot 100 [\%]$$

при чему негативна вредност δ означава да је Lp мања од Pp, док позитивна вредност означава да је Lp већа од Pp.

Табела 5: Разлике у дужинама прегледности између два правилника

Случај А								
Грађевинска струка								
Дужина претицајне прегледности (Pp)								
Разлика брзина претицаног и претичућег возила <u>грађевинске</u> струке								
$\Delta V = 15 \text{ (km/h)}$								
Претицајна прегледност Грађевинске струке $P_p \text{ [m]}$	Критеријум једнаких брзина кретања возила у саобраћајном току при претицању $V_B = V_C = V_r$ $(V_2 = V_3)$ [km/h]	40	50	60	70	80	90	100
	Правилник $P_p \text{ [m]}$ $\Delta V = 15 \text{ (km/h)}$	260	320	370	430	480	540	600
Саобраћајна струка								
Дужина прегледности за безбедно претицање (Lp)								
Разлика брзина претицаног и претичућег возила <u>саобраћајне</u> струке								
$\Delta V = 20 \text{ (km/h)}$								
Прегледност за безбедно претицање Саобраћајне струке $L_p \text{ [m]}$	$V_A - V_C (V_1 - V_3)$ [km/h]	40	50	60	70	80	90	100
	$V_B (V_2)$ [km/h]	20	30	40	50	60	70	80
	Правилник $L_p \text{ [m]}$ $\Delta V = 20 \text{ (km/h)}$	100	146	200	260	330	406	492

РАЗЛИКЕ У ДУЖИНАМА ПРЕГЛЕДНОСТИ ИЗМЕЋУ ПРАВИЛНИКА САОБРАЋАЈНЕ И ГРАЂЕВИНСКЕ СТРУКЕ $L_p - P_p$ [m]								
Разлике у дужинама $L_p - P_p$ [m]	Меродаван случај А $V_A = V_C (V_1 = V_3)$ [km/h] $\Delta V = 20$ (km/h)	-160	-174	-170	-170	-150	-134	-108

Табела 6: Разлике у дужинама прегледности између два правилника

Случај Б Грађевинска струка Дужина претицајне прегледности (Pp) Разлика брзина претицањог и претичућег возила грађевинске струке $\Delta V = 15$ (km/h)								
Претицајна прегледност Грађевинске струке P_p [m]	Критеријум једнаких брзина кретања возила у саобраћајном току при претицању $V_B = V_C = V_r$ ($V_2 = V_3$) [km/h]	40	50	60	70	80	90	100
	Правилник P_p [m] $\Delta V = 15$ (km/h)	260	320	370	430	480	540	600
Саобраћајна струка Дужина прегледности за безбедно претицање (Lp) Разлика брзина претицањог и претичућег возила саобраћајне струке $\Delta V = 15$ (km/h)								
Прегледност за безбедно претицање Саобраћајне струке L_p [m]	$V_A = V_C (V_1 = V_3)$ [km/h]	40	50	60	70	80	90	100
	$V_B (V_2)$ [km/h]	20	30	40	50	60	70	80
	Правилник $\Delta V = 15$ (km/h)	146	208	282	366	460	566	682
РАЗЛИКЕ У ДУЖИНАМА ПРЕГЛЕДНОСТИ ИЗМЕЋУ ПРАВИЛНИКА САОБРАЋАЈНЕ И ГРАЂЕВИНСКЕ СТРУКЕ $L_p - P_p$ [m]								
Разлике у дужинама $L_p - P_p$ [m]	Меродаван случај Б $V_A = V_C (V_1 = V_3)$ [km/h] $\Delta V = 15$ (km/h)	-114	-112	-88	-64	-20	26	82

6 МЕСТО И УЛОГА ПРЕТИЦАЈНЕ ПРЕГЛЕДНОСТИ И ПРЕГЛЕДНОСТИ ЗА БЕЗБЕДНО ПРЕТИЦАЊЕ У ПУТНОМ ИНЖЕЊЕРСТВУ

6.1 Претицајна прегледност (P_P)

При изради грађевинских пројеката, анализа претицајне прегледности је у функцији рачунске брзине (V_r). Примењује се за услов да је $V_B = V_C = V_r$, односно да је *Брзина претицаног возила = Брзина долазећег возила = Рачунска брзина*. Захтев за испуњење овог услова ($V_B = V_C = V_r$) је потпуно логичан и легитиман, јер је пројектант дужан да омогући исте услове кретања за возила из оба смера вожње, односно претицаног и долазећег возила.

Меродавни критеријум $V_2 = V_3 = V_r$ произлази из намене модела P_P у геометријском пројектовању. Њиме се не настоји да се непосредно репродукује конкретан саобраћајни маневар, већ да се при пројектовању пута обезбеде одговарајући и међусобно упоредиви услови кретања возила из оба смера. Због тога су брзина претицаног возила V_2 и брзина долазећег возила V_3 везане за рачунску брзину V_r .

Тачке отварања претицајне прегледности су у функцији граничних елемената пута и односе се на услов да је *Брзина претицаног возила = Брзина долазећег возила = Рачунска брзина*. При одређивању ових тачака пројектант грађевинске струке није у обавези да води рачуна о условима одвијања саобраћаја нити о саобраћајном окружењу.

Такође, пројектант грађевинске струке при анализи претицајне прегледности не разматра реалне услове вожње при претицању два возила, односно услове вожње између претичућег возила и долазећег возила.

Резултат претицајне прегледности је Дужина претицања (Дужина визуре претицајне прегледности) (P_P) која се примењује у грађевинским пројектима.

6.2 Прегледност за безбедно претицање (L_P)

У саобраћајном инжењерству поступак анализе прегледности за безбедно претицање се врши са аспекта услова одвијања саобраћаја, односно уз неопходно уважавање карактеристика саобраћајног тока, елемената пута и окружења.

Прегледност за безбедно претицање примењује се уз услов да је $V_1 = V_3$ ($V_A = V_C$), односно да је *Брзина претичућег возила = Брзина долазећег возила*.

За разлику од P_P , код модела L_P меродавни случај се формира са аспекта услова одвијања самог маневра претицања. Претичуће возило V_1 и долазеће возило V_3 посматрају се при истој меродавној брзини, док се претицано возило V_2 креће мањом брзином. Управо разлика брзина $V_1 - V_2$ омогућава извршење маневра претицања, док услов $V_1 = V_3$ дефинише меродавни однос претичућег и долазећег возила.

На тај начин модел L_P непосредно разматра однос брзина три возила који је релевантан за извршење маневра претицања. Ова разлика у формирању

меродавног случаја представља један од основних разлога због којих се критеријуми P_r и L_p не могу непосредно изједначити.

Наведени услов, *Брзина претичућег возила = Брзина долазећег возила*, јасно указује да је у својим активностима инжењеру саобраћајне струке обавеза да при анализи прегледности за безбедно претицање разматра реалне услове вожње при претицању два возила, односно услове вожње између претичућег возила и долазећег возила.

Тачке отварања прегледности за безбедно претицање су у функцији граничних елемената пута и односе се на услов да је *Брзина претичућег возила = Брзина долазећег возила*. При одређивању ових тачака пројектант је у обавези да води рачуна о условима одвијања саобраћаја, саобраћајном окружењу, као и о теоријски потребној дужини за извршење маневра претицања.

Резултат прегледности за безбедно претицање је Дужина прегледности за безбедно претицање (L_p).

Практична примена анализе прегледности за безбедно претицање са аспекта услова одвијања саобраћаја је у саобраћајном пројектовању, пословима провере и ревизије безбедности саобраћаја, пословима независних оцена утицаја пута на настанак саобраћајне незгоде, пословима вештачења саобраћајних незгода, као и у одржавању путева.

Практична примена поступка у одређивању зона дозвољеног претицања и пројектовању разделне линије приказана је у претходним истраживањима аутора [4–7]. На примеру државног пута 22 показано је да избор методолошког критеријума може утицати на укупну дужину зоне у којој су испуњени услови за претицање [4, 7].

7 УТИЦАЈ ТЕОРИЈСКИХ РАЗЛИКА ИЗМЕЂУ НАВЕДЕНИХ ВРСТА ПРЕГЛЕДНОСТИ НА БЕЗБЕДНОСТ САОБРАЋАЈА

Адекватно одређивање потребне прегледности представља један од услова за дефинисање зона у којима се маневар претицања може обављати уз прихватљив ниво безбедносне резерве. Међународна истраживања показују да стандарди прегледности засновани на различитим детерминистичким претпоставкама могу имати различите нивое ризика [12, 13]. Због тога вредности добијене различитим моделима треба тумачити у контексту њихових полазних претпоставки и конкретне намене у пројектантској пракси.

Резултати Претицајне прегледности (P_r) примењују се у оквиру намене за коју је овај модел дефинисан у геометријском пројектовању пута. Вредности P_r не могу се непосредно преузимати као вредности L_p за потребе пројектовања разделних линија за безбедно претицање.

Разлог није само различита величина прорачунатих дужина, већ различити меродавни критеријуми два модела. Код P_r примењује се услов $V_2 = V_3 = V_r$, док се код L_p примењује услов $V_1 = V_3$, при чему је $V_2 < V_1$. Непосредно преношење критеријума једног модела у други променило би меродавни пројектантски, односно саобраћајни случај на коме је модел заснован.

Конкретно, са аспекта услова одвијања саобраћаја није у складу са полазним претпоставкама модела L_p да је потребно време за извршење претицања (t)

константна величина. У саобраћајном инжењерству потребно време за извршење претицања (t) је променљива величина у функцији брзине. Правилник о условима које са аспекта безбедности саобраћаја морају да испуњавају путни објекти и други елементи јавног пута (Сл. гласник РС број 50/11) урађен је на основу става да је потребно време за извршење претицања (t) константна величина.

Према Правилнику грађевинске струке у коме је садржана Претицајна прегледност вредност разлике брзина (ΔV) је константна величина, док је према Правилнику саобраћајне струке ΔV променљива величина у функцији елемената пута и структуре саобраћајног тока.

Примена критеријума $V_2 = V_3$, карактеристичног за модел P_p , у поступку прорачуна L_p не би била у складу са полазним претпоставкама и меродавним саобраћајним случајем модела L_p . Таква примена променила би однос брзина претичућег, претицаног и долазећег возила на коме је заснован поступак прорачуна прегледности за безбедно претицање. Због тога се наведени критеријум не може непосредно пренети из модела P_p у модел L_p .

Када би се у саобраћајном инжењерству примењивао наведени критеријум (*Брзина претицаног возила = Брзина долазећег возила*) прорачуната Дужина прегледности за безбедно претицање (L_p) не би била одговарајућа за обављање безбедног претицања. Тиме би пројектант саобраћаја и саобраћајне сигнализације пројектовао пут који није безбедан за одвијање саобраћаја, док би учесници у саобраћају изгубили поверење у постављену и обележену саобраћајну сигнализацију за безбедно претицање.

У саобраћајном инжењерству примењује се критеријум ***Брзина ПРЕТИЧУЋЕГ возила = Брзина долазећег возила***. Овај критеријум омогућава прорачун Дужине прегледности за безбедно претицање (L_p) довољан за обављање безбедног претицања.

Евентуално будуће нормативно усаглашавање два приступа зато не треба разумети као нумеричко изједначавање P_p и L_p нити као изједначавање њихових параметара и критеријума. Усаглашавање може бити усмерено на јасније разграничење области примене, терминологије и међусобног односа два поступка, уз задржавање специфичне намене сваког модела.

8 ЗАКЉУЧАК

При изради грађевинских пројеката, анализа претицајне прегледности је у функцији рачунске брзине (V_r). Примењује се за услов да је $V_B = V_C = V_r$, односно да је ***Брзина претицаног возила = Брзина долазећег возила = Рачунска брзина***. Захтев за испуњење овог услова ($V_B - V_C - V_r$) је потпуно логичан и легитиман, јер је пројектант дужан да омогући исте услове кретања за возила из оба смера војње, односно претицаног и долазећег возила.

У правилнику грађевинске струке укупно време претицања (t) је константна величина и износи $t = 10$ (s).

Резултат претицајне прегледности је Дужина претицања (Дужина визуре претицајне прегледности) (P_p).

У саобраћајном инжењерству поступак анализе прегледности за безбедно претицање се врши са аспекта услова одвијања саобраћаја, односно уз неопходно уважавање карактеристика саобраћајног тока, елемената пута и окружења.

Прегледност за безбедно претицање примењује се уз услов да је $V_1 = V_2$ ($V_A = V_C$), односно да је **Брзина претичућег возила = Брзина долазећег возила**.

Наведени услов, да је **Брзина претичућег возила = Брзина долазећег возила**, јасно указује да је у својим активностима инжењеру саобраћајне струке обавеза да при анализи прегледности за безбедно претицање разматра реалне услове вожње при претицању два возила, односно услове вожње између претичућег возила и долазећег возила.

У правилнику саобраћајне струке потребно време за извршење претицања (t) је променљива величина која зависи доминантно од разлике брзина претичућег возила и претичаног возила.

Резултат прегледности за безбедно претицање је Дужина прегледности за безбедно претицање (L_p).

Наведене теоријске разлике између две струке резултирале су разликама у дужинама прегледности између правилника Саобраћајне и Грађевинске струке.

У наредној табели приказане су:

- Дужине претицајне прегледности (P_p), при чему је $V_B = V_C$ ($V_2 = V_3$) и $\Delta V = 15$ km/h
- Дужине прегледности за безбедно претицање (L_p), при чему је $V_A = V_C$ ($V_1 = V_3$) за случајеве $\Delta V = 20$ km/h и $\Delta V = 15$ km/h
- Разлике у дужинама прегледности између Саобраћајне и Грађевинске струке исказане у метрима и процентима

Табела 7: Дужине прегледности садржане у Правилницима грађевинске и саобраћајне струке и разлике у њиховим дужинама

Дужине прегледности садржане у правилницима грађевинске и саобраћајне струке (m)								
Врста прегледности	I) Разлика брзина II) Критеријум једнаких брзина	Брзина (km/h)						
		40	50	60	70	80	90	100
		Дужина (m)						
Претицајна прегледност грађевинске струке (P_p)	I) $\Delta V = 15$ (km/h) II) $V_B = V_C$ ($V_2 = V_3$)	260	320	370	430	480	540	600
Прегледност за безбедно претицање саобраћајне струке (L_p)	I) $\Delta V = 20$ (km/h) II) $V_A = V_C$ ($V_1 = V_3$)	100	146	200	260	330	406	492
	I) $\Delta V = 15$ (km/h) II) $V_A = V_C$ ($V_1 = V_3$)	146	208	282	366	460	566	682
Разлике у дужинама прегледности између правилника Саобраћајне и Грађевинске струке ($L_p - P_p$) (m)								
$\Delta V = 20$ (km/h)		-160	-174	-170	-170	-150	-134	-108
$\Delta V = 15$ (km/h)		-114	-112	-88	-64	-20	26	82
(%)								
$\Delta V = 20$ (km/h)		-62%	-54%	-46%	-40%	-31%	-25%	-18%
$\Delta V = 15$ (km/h)		-44%	-35%	-24%	-15%	-4%	5%	14%

Посебно је значајно да за сценарио $\Delta V=15$ km/h разлика мења знак између брзина 80 и 90 km/h: при 80 km/h L_p је за 4% мања од P_p , док је при 90 km/h за 5% већа од P_p . Овај резултат показује да однос P_p и L_p није константан у функцији брзине и да се једна вредност не може добити простим константним корекционим фактором друге.

Анализа показује да разлике између P_p и L_p нису последица само различитих табеларних вредности, већ пре свега различитих полазних претпоставки и намене два прорачунска поступка. За $\Delta V=20$ km/h вредности L_p су у анализираном распону брзина ниже од P_p , док се за $\Delta V=15$ km/h однос мења при већим брзинама.

Квантитативно поређење показало је да величина и смер разлике између P_p и L_p зависе од анализиране брзине и усвојене разлике брзина ΔV . За $\Delta V=20$ km/h вредности L_p су у целокупном анализираном распону брзина ниже од P_p за 18–62%. За $\Delta V=15$ km/h релативна разлика се креће од –44% до +14%, при чему L_p при већим анализираним брзинама прелази вредност P_p . Овакви резултати потврђују да P_p и L_p не представљају међусобно заменљиве табеларне величине, већ резултате поступака заснованих на различитим прорачунским претпоставкама и намени.

Сprovedена анализа показује да се разлике између P_p и L_p не могу свести само на различите табеларне вредности. **Два модела имају различиту намену и различито дефинисан меродавни случај.**

Код P_p примењује се критеријум $V_2=V_3=V_r$, који произлази из захтева геометријског пројектовања и обезбеђивања идентичних услова кретања возила из оба смера. Код L_p примењује се критеријум $V_1 = V_3$, при чему је $V_2 < V_1$, који произлази из односа брзина возила релевантног за сам маневар претицања.

Због тога у оквиру постојећих теоријских основа није могуће непосредно изједначити вредности, параметре и критеријуме два модела без промене основне логике и намене најмање једног од њих. Другим речима, изједначавање критеријума брзина не би представљало само нормативно усаглашавање два постојећа поступка, већ измену меродавног случаја на коме је један од њих заснован.

На основу спроведене анализе може се закључити да вредности P_p и L_p не треба изједначавати, јер два модела имају различиту намену, различито дефинисан меродавни случај и различите критеријуме прорачуна. Истовремено, у оквиру постојећих теоријских основа, параметри и критеријуми модела P_p и L_p не могу се непосредно изједначити без промене основне логике, меродавног случаја и намене најмање једног од њих. Због тога се ова два модела не могу посматрати као међусобно заменљиви, већ као засебни прорачунски поступци који се примењују у различитим областима путног инжењерства.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Katanić, J., Anđus, V., & Maletin, M. (1983). Projektovanje puteva. Beograd.
- [2] Правилник о условима које са аспекта безбедности саобраћаја морају да испуњавају путни објекти и други елементи јавног пута („Сл. гласник РС“, бр. 50/2011).

- [3] Правилник о саобраћајној сигнализацији („Сл. гласник РС“, бр. 85/2017, 14/2021, 21/2024 и 76/2026).
- [4] Aleksić, B., Živadinović, M., & Savković, L. (2023). Analysis of sight distance for safe overtaking on road 22, section Mataruška Banja–Ušće, according to the criterion „clean shoulder“. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 69(4), 1–9. DOI: 10.31075/PIS.69.04.01.
- [5] Алексић, Б., Живадиновић, М., Савковић, Л., & Киричић, Н. (2023). Поступак одређивања прегледности за безбедно претицање дуж двотрачног двосмерног пута. Међународна конференција „Безбедност саобраћаја у локалној заједници“, Копаоник, Зборник радова, 27–41.
- [6] Živadinović, M., Aleksić, B., Savković, L., & Radulović, K. (2024). Одређивање прегледности за безбедно претицање као предуслов за пројектовање разделне линије. ТЕСИ 2024 – XIV Конференција о техникама саобраћајног инжењерства, Златибор, 125–131. DOI: 10.37528/FTTE/9788673954875/TESi.2024.48.
- [7] Алексић, Б., Живадиновић, М., & Савковић, Л. (2024). Анализа добијених резултата прегледности за безбедно претицање на постојећем државном путу 22 од Матарушке Бање до Ушћа применом два методолошка поступка. XIX међународна конференција „Безбедност саобраћаја у локалној заједници“, Златибор, 39–54. DOI: 10.46793/RSaLC24.039A.
- [8] Aleksić, B., Živadinović, M., & Savković, L. (2025). Theoretical differences between Overtaking Sight Distance and Sight Distance for Safe Overtaking. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 71(1), 25–31. DOI: 10.31075/PIS.71.01.04.
- [9] Harwood, D. W., Gilmore, D. K., Richard, K. R., Dunn, J. M., & Sun, C. (2008). Passing Sight Distance Criteria. NCHRP Report 605. Transportation Research Board, Washington, DC. DOI: 10.17226/23278.
- [10] Hassan, Y., Easa, S. M., & Abd El Halim, A. O. (1996). Passing sight distance on two-lane highways: Review and revision. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 30(6), 453–467. DOI: 10.1016/0965-8564(95)00032-1.
- [11] Llorca, C., & García, A. (2011). Evaluation of passing process on two-lane rural highways in Spain with new methodology based on video data. *Transportation Research Record*, 2262, 42–51. DOI: 10.3141/2262-05.
- [12] Llorca, C., Moreno, A. T., Sayed, T., & García, A. (2014). Sight distance standards based on observational data: Risk evaluation of passing. *Transportation Research Record*, 2404, 18–26. DOI: 10.3141/2404-03.
- [13] Hassein, U. (2020). Reliability-based design for passing maneuvers based on observational data. *Transportation Research Record*, 2674(7), 127–134. DOI: 10.1177/0361198120920875.

SUMMARY

Theoretical Differences Between Overtaking Sight Distance and Sight Distance for Safe Overtaking Under Serbian Regulations

Abstract: Two different approaches to the analysis of overtaking sight distance on two-lane, two-way roads are applied under the current regulations of the Republic of Serbia: Overtaking Sight Distance (P_p), which is used in geometric road design, and Sight Distance for Safe Overtaking (L_p), which is used in traffic engineering for determining centerline markings for safe overtaking. The aim of this paper is to identify the theoretical and computational differences between these two models, quantify their influence on the required sight distances, and examine the possibility of directly equalizing their values, parameters, and criteria. The key difference arises from the differently defined design cases. For P_p , the criterion $V_2 = V_3 = V_r$ is applied, arising from geometric road design requirements and the need to provide equal operating conditions for vehicles travelling in both directions. For L_p , the criterion $V_1 = V_3$ is applied, with $V_2 < V_1$, reflecting the conditions of the overtaking manoeuvre itself. A quantitative analysis for speeds ranging from 40 to 100 km/h showed that, for $\Delta V = 20$ km/h, L_p values are 18% to 62% lower than P_p values, while for $\Delta V = 15$ km/h the relative difference ranges from -44% to +14%, with the direction of the difference changing at higher speeds. The results indicate that P_p and L_p are not interchangeable quantities and that direct equalization of their values, parameters, and criteria is not possible within the existing theoretical frameworks.

Key words: sight distance for safe overtaking, overtaking sight distance, theoretical differences, road design, traffic engineering

Registar ORCID brojeva autora

Prezime, Ime	ORCID broj
Andrijašević, Milan	0009-0000-6546-3709
Antić, Boris	0000-0002-7147-9384
Barać, Nikola	0009-0008-7906-0589
Batarilo, Svetlana	0000-0002-9753-9752
Bogdanović, Vuk	0000-0001-5492-264X
Canić, Aleksandar	0009-0001-1618-2449
Čelar, Nikola	0000-0002-0261-6090
Čubranić-Dobrodolac, Marjana	0000-0002-7770-364X
Čuljković, Vladimir	0000-0002-2592-6462
Đerić, Miroslav	0000-0003-1450-8940
Đorić, Vladimir	0000-0003-4482-0038
Filipović, Filip	0000-0003-3329-2006
Fric, Sanja	0000-0002-7848-1655
Gajić, Ranka	0000-0001-6316-4721
Garunović, Nemanja	0000-0002-3063-7593
Gavran, Dejan	0000-0002-3879-3435
Glavić, Draženko	0000-0002-0069-2153
Ilić, Vladimir	0009-0008-2915-128X
Ivanović, Ivan	0000-0001-8079-6237
Jovanov, Kosta	0009-0000-6963-5600
Jovanović, Aleksandar	0000-0003-4208-5703
Jovanović, Dragan	0000-0002-2716-481X
Kajalić, Jelena	0009-0004-2221-9289
Komarica, Jelica	0009-0008-2164-8654
Kovačević, Andrea	0009-0004-4555-8144
Kukić, Katarina	0000-0001-7369-2456
Matović, Boško	0000-0002-8336-8809
Milenković, Marina	0000-0001-7931-0586
Miličić, Milica	0000-0001-5472-7967
Mitrović Simić, Jelena	0000-0002-0603-7774
Mirović, Valentina	0000-0002-5609-1664
Mladenović, Dušan	0000-0003-4385-9555
Momčilović, Vladimir	0000-0002-4096-0781
Nedeljkov, Mladen	0009-0007-2915-3878
Nikolić, Tijana	0009-0007-4477-9609
Papić, Zoran	0000-0003-1264-0913
Perović, Filip	0009-0004-3219-4310
Petrović, Dragana	0000-0002-5660-7763
Petrović, Miroslav	0009-0001-3194-4755

Pešić, Dalibor	0000-0001-8357-1746
Pitka, Pavle	0000-0001-6389-1195
Saulić, Nenad	0000-0002-1151-6737
Savković, Lazar	0009-0006-1300-6446
Smailović, Emir	0000-0001-9342-722X
Simeunović, Milja	0000-0001-9650-2635
Simićević, Jelena	0000-0002-1781-441X
Stanić, Branimir	0009-0003-6956-121X
Stanković, Stamenka	0000-0002-0943-6412
Stepanović, Nemanja	0000-0002-7384-4218
Stokić, Marko	0000-0003-1736-1729
Subotić, Marko	0000-0002-8873-3211
Tomašević, Anđela	0009-0009-0193-5426
Trpčevski, Filip	0000-0002-0161-5803
Trpković, Ana	0000-0001-7277-6375
Tubić, Milica	0009-0001-0942-0269
Tubić, Miloš	0009-0001-6761-3245
Tubić, Vladan	0000-0001-9915-412X
Uzelac, Ana	0000-0002-7203-9567
Vidas, Marijo	0000-0002-2543-0459

Beleške



- Planiranje saobraćaja
- Izrada saobraćajnih studija
- Revizije i provere bezbednosti saobraćaja (RBS i PBS)
- Projekti tehničkog regulisanja saobraćaja
- Projekti privremene saobraćajne signalizacije i opreme u zoni radova
- Projekti turističke saobraćajne signalizacije
- Projekti opremanja raskrsnica svetlosnom signalizacijom
- Projekti kontrole i upravljanja saobraćajem (ITS)
- Ekonomska analiza i vrednovanje projekata u saobraćaju
- Projekti puteva svih kategorija
- Projekti rekonstrukcije i rehabilitacije puteva svih kategorija
- Projekti površinskih, denivelisanih i kružnih raskrsnica
- Projekti saobraćajnih priključaka na državne i druge puteve
- Projekti površina za stacionarni saobraćaj (parkirališta)
- Projekti pešačkih, biciklističkih površina i parterna uređenja
- Projekti internih saobraćajnica i saobraćajnog uređenja fabrika, poslovnih prostora i magacina
- Ozakonjenje saobraćajnih priključaka na državne puteve
- Elaborati i projekti za primenu standarda pristupačnosti
- Tehnička kontrola projektne dokumentacije iz oblasti saobraćaja i saobraćajnica
- Poslovi nadzora u oblasti saobraćaja i saobraćajnica

ADOMNE d.o.o.

projektovanje i inženjering Novi Sad

Antona Čehova 1, 21000 Novi Sad, Srbija

00 381 (0)21 425 021

office@adomne.rs www.adomne.rs



NOVIUS

INTELENTNI TRANSPORTNI SISTEMI
SAVREMENA REŠENJA
ODRŽIVE ZAJEDNICE

ZNANJE
ISKUSTVO
TEHNOLOGIJA

INFRASTRUKTURA
POVEZUJE
LJUDE

INOVATIVNA
PUTNA I
SAOBRAČAJNA
REŠENJA

MISIJA KOMPA NIJE

„Stvaranje **sigurne, održive i pouzdane**
putne infrastrukture i organizovanje saobraćaja“



Projektovanje
puteva i ulica
DO IDEJE
DO REALIZACIJE



Nadzor
na izgradnji
KVALITET
U SVAKOJ FAZI



Bezbednost
saobraćaja
BEZBEDNIJI LJUDI
SIGURNIJA PUTOVANJA



Konsalting
ZNANJE ZA
ODRŽIVI RAZVOJ



PROJEKTI
KOJI POVEZUJU



INTELENTNA
REŠENJA ZA
BEZBEDNIJU BUDUĆNOST



TIM LJUDI
SA VIZIJOM

O NAMA

NOVIUS d.o.o. je inženjerska kompanija osnovana 2017. godine, specijalizovana za putno inženjerstvo, saobraćajno planiranje i projektovanje, bezbednost saobraćaja, stručni nadzor i konsalting.

LICENCE

P131G2 • P131S1
INŽENJERSKA ZNANJA
ZA ODRŽIVU MOBILNOST

ISKUSTVO U REGIONIMA



Prilikom rada, trudimo se da u naše projekte prenesemo iskustvo koje smo stekli širom Srbije, regiona Evrope, Azije i Afrike na raznim infrastrukturnim projektima koje finansiraju Međunarodne finansijske institucije.

NOVIUS d.o.o.

Bulevar kralja Aleksandra 324, Beograd

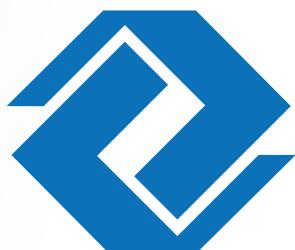
+381 64 646 5263

info@novius.rs

novius.rs

BOLJE | SIGURNIJE SUTRA





TTK
TRAFFIC

Vidimo se na putu.

Projektovanje, proizvodnja i ugradnja
saobraćajne signalizacije i opreme.
Privremena regulacija saobraćaja.
Izrada čeličnih konstrukcija.



TTK Traffic d.o.o.
Patrijarha Pavla 1,
11271 Beograd – Surčin
T/F: 011 316 08 00
office@ttk.rs, www.ttk.rs

MODEL 5

SINCE 1993



PAMETNA I PRIMENLJIVA REŠENJA ZA BEZBEDNOST SAOBRAĆAJA

SIGURNIJI PUTEVI.
BEZBEDNIJI LJUDI.
BOLJA BUDUĆNOST.



SAOBRAĆAJNA SIGNALIZACIJA I OPREMA

VERTIKALNA I HORIZONTALNA
SIGNALIZACIJA
PRIVREMENA SIGNALIZACIJA
PORTALI I SIGNALNE PRIKOLICE
MOBILNI SEMAFORI
ZAŠITNA OPREMA I ČUNJEVI
VERTIKALNE BARIJERE
ČEONE ZAPREKE



SMART TRAFFIC & SMART CITY

PAMETNI PEŠAČKI PRELAZI
LED / VMS SISTEMI
SMART STAJALIŠTA I KLUPE
INTELIGENTNA REŠENJA
ZA GRADOVE
SOLARNA ENERGIJA
NADSTREŠNICE I URBANI
MOBILIJAR
INFORMATIVNI DISPLEJI



BEZBEDNOST I EDUKACIJU

SIMULATOR PREVRTANJA VOZILA
SIMULATOR ČEONOG SUDARA
SIMULATOR PREVRTANJA
TRAKTORA
EDUKATIVNI SAOBRAĆAJNI
POLIGONI
PROGRAMI ZA SVE UZRASTE



PROJEKTOVANJE I REALIZACIJU

PROJEKTNJA DOKUMENTACIJA
GRAFIČKI BIRO
SOPSTVENA PROIZVODNJA
TERENSKA MONTAŽA
IZVOĐENJE RADOVA
ODRŽAVANJE
KONSALTING I TEHNIČKA
PODRŠKA

PROJEKTOVANJE

PROIZVODNJA

UGRADNJA

ODRŽAVANJE



*Bezbedniji
danas.
Sigurniji sutra.*

www.model5.rs



LJUDI



GRADOVI



ODRŽIVA
BUDUĆNOST

VIŠE OD 75 GODINA ISKUSTVA U PROJEKTOVANJU SAOBRAĆAJNE INFRASTRUKTURE

Hidroprojekat-saobraćaj

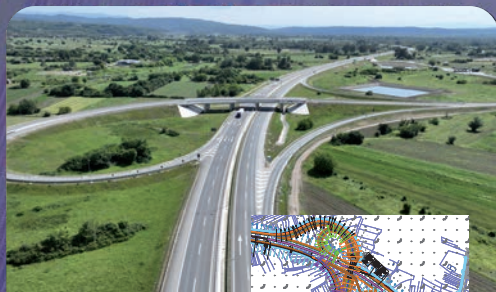
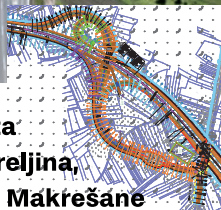
- Projektovanje
- Istraživanje
- Studije
- Nadzor
- Inženjering



**Glavni projekat
petlje Radnička**



**Projekat Autoputa
E-80, deonica
Staničenje - Piro**



**Projekat autoputa
E-761 Pojate – Preljina,
deonica Pojate – Makrešane**

YUNEX TRAFFIC

Solving tomorrow's mobility challenges today.

ISBN 978-86-7395-522-3

