

NAUČNO-STRUČNI ČASOPIS ŽELEZNICA SRBIJE • UDK 656.2 (05) • ISSN 0350-5138

ŽELEZNICE

VOL. 70 • BROJ 2 • STRANA 82-148 • BEOGRAD • DECEMBAR 2025. GODINE

SPECIJALNI BROJ
X međunarodni simpozijum saobraćaja i komunikacija
NOVI HORIZONTI 2025



IZDAJE:



Društvo diplomiranih inženjera železničkog saobraćaja Srbije
(DIŽS), Beograd, Nemanjina 6

NAUČNO-STRUČNI ČASOPIS ŽELEZNICA SRBIJE • UDK 656.2 (05) • ISSN 0350-5138

ŽELEZNICE

VOL. 70 • BROJ 2 • STRANA 82-148 • BEOGRAD • DECEMBAR 2025. GODINE

REDAKCIJA

Glavni urednik

Prof. dr Slavko Vesković, dipl. inž.

Odgovorni urednik

Danko Trninić, dipl. inž.

Tehnički urednik

Vesna Vesković, graf. diz.

Lektor

Ivana Milinković, dipl. fil.

PERIODIČNOST

Šestomesečno

TIRAŽ

30 primeraka

ŠTAMPA

Instant system d.o.o.
Beograd, Čarlija Čaplina 33

IZDAVAČ

Društvo diplomiranih inženjera
železničkog saobraćaja Srbije (DIŽS)

Odgovorno lice izdavača

Prof. dr Branislav Bošković, dipl. inž.
predsednik

SUIZDAVAČI

Univerzitet u Beogradu:
Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305
Mašinski fakultet, Kraljice Marije 16

KONTAKT

tel. +381 11 3613 219
E-mail: casopis-zeleznice@dizs.org.rs
www.dizs.org.rs
www.casopis-zeleznice.rs

ORIGINALNI NAUČNI RADOVI

Luka Lazarević, Zdenka Popović

**Preporuke za projektovanje putnih prelaza u nivou
koji se nalaze u krivinama koloseka 82 - 89**

PRETHODNO SAOPŠTENJE

Marko Ercegovac, Pamela Ercegovac

**VEB aplikacija za predviđanje nezgoda na putno-pružnim prelazima
korišćenjem heterogenog modela sistema redova čekanja 90 - 95**

Drago Pupavac, Ljudevit Krpan

**Optimizacija ljudskih resursa u željezničkom
sektoru: Studija slučaja HŽ Infrastrukture 96 - 105**

PREGLEDNI RADOVI

Dragan Đorđević, Nikola Ristić, Ana Vulević, Jasmina Stanišić

**Analiza usluga železničkog saobraćaja i pristupačnosti sa
aspekta osoba sa invaliditetom: železnička mreža Srbije 106 - 114**

Zdenka Popović, Luka Lazarević, Milica Mičić, Ljiljana Brajović

**RCF nepravilnosti na glavi šine – smernice
za održavanje 115 - 123**

Miroslav Prokić

**Analiza učinka evropskih železničkih
teretnih koridora 124 - 133**

STRUČNI RADOVI

Manfred Vohla, Andreas Schöbel

Hibridni sistemi vuče za železnicu Cilertal u Austriji. . 134 - 142

Jasmina Stanišić, Nikola Ristić, Dragan Đorđević

**Primena višekriterijumske analize za premeštanje
trase železničke pruge: studija slučaja Jagodine 143 - 148**

REDAKcioni ODBOR

Miroslav Stojčić, dipl. inž, menadžer za saobraćajne i operativne poslove
Global Neologistics, Beograd, Vojvode Milenka 7
(predsednik)

Anita Dimoski, dipl. inž, pomoćnik ministra - sektor za železnički i intermodalni transport
Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture, Beograd, Nemanjina 22-26

Ivan Bulajić, mast. ekon, generalni direktor
Srbijavoz, Beograd, Nemanjina 6

Ljiljana Kostić, dipl. inž, direktor
Direkcija za železnice Republike Srbije, Beograd, Nemanjina 6

Mr Ljubomir Bečejac, dipl. Inž, direktor železničkog sektora
Institut Mihajlo Pupin, Beograd, Volgina 15

Milutin Milošević, dipl. inž, izvršni direktor za upravljanje javnom železničkom infrastrukturom
Infrastruktura železnice Srbije, Beograd, Nemanjina 6

Nataša Mlinar Ležaja, dipl. inž, generalni direktor
Srbija kargo, Beograd, Nemanjina 6

Saša Trivić, dipl. Inž, glavni inženjer saobraćaja i vuče
TENT, Obrenovac, Bogoljuba Uroševića Crnog 44

Prof. dr Slaven Tica, dipl. inž, generalni direktor
Saobraćajni institut CIP, Beograd, Nemanjina 6

Prim. dr Vlado Batnožić, spec. hir, direktor
Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika „Železnice Srbije“, Beograd, Savska 23

UREĐIVAČKI ODBOR

***Prof. dr Slavko Vesković*, dipl. inž. saobr.
(predsednik)**

Dr Aleksandar Radosavljević, dipl. inž. maš.

Prof. dr Bojan Ilić, dipl. ekon.

Prof. dr Božidar Radenković, dipl. inž. org.

Prof. dr Branislav Bošković, dipl. inž. saobr.

Akademik Branislav Mitrović, dipl. inž. arh.

Prof. dr Dragomir Mandić, dipl. inž. saobr.

Prof. dr Dragutin Kostić, dipl. inž. elek.

Prof. dr Dušan Stamenković, dipl. inž. maš.

Prof. dr Goran Marković, dipl. inž. saobr.

Prof. dr Goran Simić, dipl. inž. maš.

Prof. dr Gordan Stojić, dipl. inž. saobr.

dr Gordana Đurić, spec. neur.

Prof. dr Ilija Tanackov, dipl. inž. saobr.

Prof. dr Marko Vasiljević, dipl. inž. saobr.

Prof. dr Milan Marković, dipl. inž. saobr.

Prof. dr Milena Ilić, dipl. ekon.

Prof. dr Milorad Kilibarda, dipl. inž. saobr.

Prof. dr Miloš Ivić, dipl. inž. saobr.

Prof. dr Nebojša Bojović, dipl. inž. saobr.

Prof. dr Snežana Mladenović, dipl. mat.

Doc. dr Stanislav Jovanović, dipl. inž. građ.

Dr Vesna Pavelkić, dipl. fiz. hem, prof. str. st.

Prof. dr Vojkan Lučanin, dipl. inž. maš.

Prof. dr Zdenka Popović, dipl. inž. građ.

Dr Zoran Bundalo, dipl. inž. saobr, prof. str. st.

dr Zoran Milićević, dipl. inž. elek.

dr Zorica Milanović, dipl. inž. saobr, prof. str. st.

dr Života Đorđević, dipl. inž. maš.

UPUTSTVO ZA PRIPREMU RADOVA ZA ČASOPIS „ŽELEZNICE“

1. OPŠTE ODREDBE

Autori su obavezni da radove pripreme i dostave Redakciji časopisa prihvatajući i poštujući ovo uputstvo i odgovorni su za originalnost i kvalitet radova, kao i verodostojnost rezultata.

Svi radovi podležu recenziji. Autorima se neće saopštavati imena i prezimena recenzenata.

Radove, sa svim priložima, poslati na e-mail adresu „casopis-zeleznice@dizs.org.rs” ili ih snimljene na digitalnom mediju dostaviti na adresu „Društvo diplomiranih inženjera železničkog saobraćaja Srbije”, Beograd, Nemanjina 6.

Slike i fotografije u radovima napraviti u JPG, TIFF ili PNG formatu minimalne rezolucije 300 dpi. Pored toga, dostaviti ih i posebno u originalnom formatu.

Autori su obavezni i da za svaki rad posebno Redakciji časopisa dostave u odštampanom obliku potpisanu „Izjavu o autorstvu i originalnosti rada”.

2. TEHNIČKA PRIPREMA

Radovi mogu biti na minimalno 10 strana A4 formata uključujući i sve priloge, a preporuka je da nisu duži od 15 strana. Pripremiti ih u programu „Microsoft Word”. Gornja i donja margina treba da su po 3,5 cm, a leva i desna po 2 cm. Koristiti mod „Justify” i font „Cambria” sa proredom „Single” i vrednostima „0” u opcijama „Before” i „After”. Između naslova svih poglavlja i pasusa međusobno ostaviti po jedan prazan red. Početak pasusa je uz levu marginu. U brojevima sa preko 3 cele cifre, hiljade odvajati tačkom. Decimale odvajati zarezom.

Puna imena i prezimena autora i koautora rada pisati velikim „bold” slovima veličine 14 uz desnu marginu.

Naslov rada može biti najviše u dva reda. Pisati ga velikim „bold” slovima veličine 18 na sredini strane. Naslov dati i na engleskom jeziku.

Rezime rada, obima do 150 reči, pisati malim slovima veličine 11 i u novom redu navesti do 7 **ključnih reči**. Oba dela dati i na engleskom jeziku.

U **fusnoti** naslovne strane rada, malim slovima veličine 9, za prvog autora navesti akademsku titulu, ime, prezime i zvanje, naziv i adresu institucije u kojoj je zaposlen (za penzionere i nezaposlena lica adresu stanovanja) i e-mail adresu.

Poglavlja pisati u dve kolone razmaka 5 mm. Naslove pisati slovima veličine 12: velikim „bold” sa jednim, malim „bold” sa dva i malim „bold italic” sa tri arapska broja. Tekst poglavlja pisati malim slovima veličine 11. U svakom pasusu dozvoljeno je po jedno nabranje i podnabranje formatizovano u alineje, koje se spajaju sa pasusima u kojima se one najavljuju.

Jednačine po pravilu pisati u jednoj, a one duže mogu da budu i preko obe kolone. Numerisati ih uz desnu marginu u zagradama tipa „()” i na te brojeve se pozivati u tekstu. Simboli koji se koriste u jednačinama treba da se objasne pre ili neposredno posle njih. Promenljive se pišu „italic” slovima.

Tabele, grafikone, crteže i fotografije staviti odmah posle pasusa u kojima se opisuju. Mogu da budu u jednoj ili preko obe kolone. Numerisati ih redom kako se pojavljuju. Njihove nazive pisati „italic” slovima uz levu marginu iznad tabele, a na sredini ispod grafikona, crteža i fotografija. Ispod svih njih, „italic” slovima u zagradi tipa „()”, navesti izvor podataka. Sadržaj unutar tabele pisati „normal” slovima i koristiti zagrade tipa „()”.

Upotrebljavati **osnovne jedinice SI (MKS)** mernog sistema. Ako se moraju koristiti neke druge, naznačiti ih. Jedinice se navode u zagradama tipa „[]”.

Skraćenice i akronime označiti kada se prvi put upotrebe u tekstu, čak i ako su već nalaze u rezimeu. Opšte poznate skraćenice ne treba da se obrazlažu.

U **zaključku** ne ponavljati deo opisan u rezimeu.

Ako je predviđena „**ZAHVALNICA**” za pomoć u radu, napisati je kao posebno poglavlje pre literature.

Pojedinačnu literaturu u tekstu navoditi po redosledu citiranja numeričkim oznakama u zagradama tipa „[]” koje se stavljaju iza tačke rečenica u kojoj se poziva na nju. U poslednjem poglavlju rada „**LITERATURA**” dati kompletan spisak iste. Svaka pojedinačno navedena literatura treba da bude sa kompletnim opisom.

Na sledećoj strani je model za pripremu radova

NASLOV RADA

NASLOV RADA NA ENGLESKOM JEZIKU

Rezime: tekst obima do 150 reči

Ključne reči: vreme, transformacija, koncentracija

Summary: prevod rezimea na engleski jezik

Key words: time, transformation, concentration

1. POGLAVLJE

1.1. Potpoglavlje

1.1.1. Potpoglavlje

Primer za formulu:

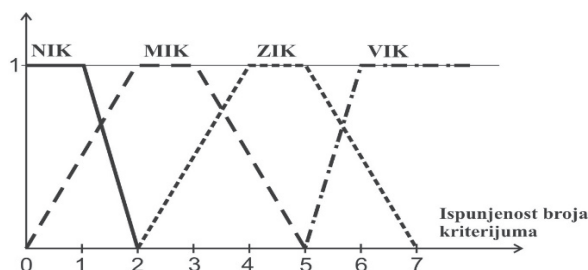
$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

Primer za tabelu:

Tabela 1. Naziv

Period dana	Srednji inter. sl. (min)	Iskoriš. kapac. (%)	Broj vozova		
			putnički	teretni	Σ
05-23	12,5	84	28	8	36
23-05	10,7	62	4	10	14
Ukupno			32	18	50

Primer za grafikon, crtež i fotografiju:



Slika 1. Naziv

Primer navođenja literature za rad objavljen u časopisu [1], knjigu [2], poglavlje u monografiji (knjizi) sa više autora [3], rad objavljen u zborniku radova sa konferencije [4] i članak preuzet sa veb sajta [5]:

LITERATURA

- [1] Rongrong L, Yee L: Multi-objective route planning for dangerous goods using compromise programming, Journal of Geographical Systems, Vol. 13. No. 3, pp. 249-271, 2011.
- [2] Law A: Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill Inc, New York, 2007.
- [3] Stojić G, Tanackov I, Vesković S, Milinković S: Modeling Evaluation of Railway Reform Level Using Fuzzy Logic, Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent Data Engineering And Automated Learning, Ideal '09, Burgos, Spain, Springer-Verlag Berlin, Germany, 5788: pp. 695-702, 2009.
- [4] Mladenović S, Čangalović M, Bečejski-Vujaklija D, Marković M: Constraint programming approach to train scheduling on railway network supported by heuristics, 10th World Conference on Transport Research, CD of Selected and Revised Papers, Paper number 807, Abstract book I, pp. 642-643, Istanbul, Turkey, 2004,
- [5] Tod L, Tom R: Evaluating Public Transit Accessibility "Inclusive Design" Performance Indicators For Public Transportation In Developing, <http://www.vtpi.org/tranacc.pdf>, 2005.

*Prof. dr Jovan Jovanović, Univezitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, j.jovanovic@sf.bg.ac.rs

UVODNA REČ GOSTUJUĆEG UREDNIKA

Ovaj, specijalni broj časopisa ŽELEZNICE, posvećen je X međunarodnoj naučnoj konferenciji NOVI HORIZONTI saobraćaja i komunikacija 2025 - TransportaCom, koja je održana 5-8. novembra 2025. godine na Saobraćajnom fakultetu Doboj Univerziteta u Istočnom Sarajevu.

Organizator konferencije je Saobraćajni fakultet Doboj Univerziteta u Istočnom Sarajevu, a kao suorganizatori pojavljuju se značajne naučno-istraživačke institucije, i to:

1. Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Srbija,
2. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Srbija,
3. Univerzitet u Prištini - Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica, Srbija,
4. Univerzitet u Sarajevu – Fakultet za saobraćaj i komunikacije, Bosna i Hercegovina,
5. Univerzitet Sv. Kliment Ohridski – Tehnički fakultet Bitolj, Severna Makedonija
6. Vilnius Gediminas Technical University, Faculty of Transport Engineering, Lithuania
7. University of Pardubice, Faculty of Transport Engineering, Czech Republic
8. Technical University of Crete, School of Production Engineering and Management, Greece
9. University of KwaZulu-Natal, School of Engineering, Discipline of Civil Engineering, South Africa
10. Ondokuz Mayıs University, Engineering Faculty, Turkey
11. Maritime University of Szczecin, Faculty of Navigation, Poland
12. Georgian Technical University, Faculty of Transport Systems and Mechanical Engineering, Georgia
13. Faculty of Economic, Administration, and Social Sciences, Kadir Has University, Turkey
14. University of Sarajevo, Faculty of Transport and Communications, Bosnia and Herzegovina
15. University of Ljubljana, Faculty of Maritime Studies and Transport, Slovenia
16. Transport and Telecommunication Institute, Latvia
17. MCKV Institute of Engineering, India
18. International Information and Engineering Technology Association (IIETA), Canada i

19. International Society of Fuzzy Set Extensions and Applications (ISFSEA).

Na konferenciji je učestvovalo ukupno 254 autora iz 40 zemalja sa 5 kontinenata sa 96 radova. U Zborniku radova konferencije objavljeno je 42 radova (dostupan na zvaničnom sajtu – www.novihorizonti.rs.ba) a u specijalnom izdanju Springer „Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure Part F1340“ početkom 2026. godine biće objavljeno još 50 radova.

Učestvovali su istraživači iz: Austrije, Bangladeša, Bosne i Hercegovine, Kanade, Čilea, Kine, Hrvatske, Gruzije, Nemačke, Grčke, Indije, Irana, Irske, Italije, Letonije, Libije, Litvanije, Luksemburga, Crne Gore, Nigerije, Severne Makedonije, Poljske, Katara, Republike Koreje, Rumunije, Škotske, Srbije, Singapura, Slovačke, Slovenije, Južne Afrike, Španije, Švedske, Turske, Ukrajine, Ujedinjenih Arapskih Emirata, Ujedinjenog Kraljevstva, SAD, Jemena.

Radovi su bili klasifikovani u osam oblasti i to: drumski, železnički, pomorski i poštanski transport, logistika i upravljanje lancem snabdevanja, IKT i telekomunikacione mreže, transport opasnih tereta i operaciona istraživanja u transportu. Čak četvrtina radova je bilo iz oblasti železničkog saobraćaja i transporta. Od ukupno 24 radova koji se bave problematikom železnice, Uređivački odbor ovog časopisa, u saradnji sa članovima Programskog odbora Konferencije, izabrao je osam radova koji su, objavljeni u celini u ovom, specijalnom broju časopisa ŽELEZNICE. Radove objavljujemo u prevodu na srpskom i hrvatskom jeziku. uz saglasnost autora.

Posebnu zahvalnost uredništvo časopisa duguje dekanu Saobraćajnog fakulteta Doboj prof. dr Miroslavu Kostadinoviću i prof. dr Željku Steviću predsedniku programskog odbora Međunarodne naučne konferencije NOVI HORIZONTI 2025 - TransportaCom za saradnju i svesrdnu pomoć u vezi realizacije ovog broja časopisa.

Gost urednik specijalnog broja časopisa:

Prof. dr Gordan Stojić

ORIGINALNI NAUČNI RAD

LUKA LAZAREVIĆ*, ZDENKA POPOVIĆ

PREPORUKE ZA PROJEKTOVANJE PUTNIH PRELAZA U NIVOU KOJI SE NALAZE U KRIVINAMA KOLOSEKA

DESIGN RECOMMENDATIONS FOR LEVEL CROSSINGS LOCATED ON TRACK CURVES

UDK: 625 + 625.1/.5 + 656.2

REZIME:

Putni prelazi u nivou i dalje predstavljaju kritičan bezbednosni rizik, naročito u uslovima rekonstrukcije železničke mreže za veće brzine i povećan obim saobraćaja. Iako se ulažu značajni naponi da se smanji njihov broj, mnogi od njih će ostati u funkciji zbog različitih lokalnih ograničenja. Sa porastom brzina saobraćaja, rizici povezani sa putnim prelazima u nivou postaju ozbiljniji, što zahteva primenu strožih bezbednosnih standarda i unapređenje projektantske prakse. Ovaj rad predstavlja osnovne principe za projektovanje putnih prelaza u nivou. Iako se preporučuje da se putni prelazi u nivou postave na pravcu, ponekad nije moguće izbeći njihovo postavljanje u krivini, čak ni u slučaju krivina sa velikim nadvišenjem i malim radijusom. Autori skreću posebnu pažnju na ovu vrstu prelaza u nivou, a posebno na one koji se nalaze na dvokolosečnim železničkim prugama zbog složene geometrije prelaza. Pored toga, autori preporučuju odgovarajuće mere za unapređenje rešenja nivelete puta, uz očuvanje bezbednosti i efikasnosti železničkog saobraćaja. Primena takvih rešenja može značajno poboljšati bezbednost i funkcionalnost prelaza u nivou u uslovima zahtevne geometrije trase pruge.

Ključne reči: železnica, Infrastruktura, putni prelaz u nivou, krivina, projektovanje, bezbednost.

SUMMARY:

Level crossings remain a critical safety concern, especially as railway networks are upgraded for higher speeds and increased traffic volumes. Although significant efforts are made to reduce the number of level crossings, many of them will remain in operation due to different local constraints. With the rise in operational speeds, the risks associated with level crossings become more severe, requiring the application of stricter safety standards and improved design practices. This paper presents the main principles for the design of level crossings. Although it is recommended for level crossings to be located in straight track, sometimes it is not possible to avoid locating them in curved track, even in the case of curves with high cant and narrow radius. Authors draw special attention to this type of level crossings, especially those located on double track railway lines due to their complex geometry. Additionally, authors recommend appropriate measures to improve road alignment while maintaining rail safety and operational efficiency. Implementing such solutions can significantly enhance the overall safety and functionality of level crossings in challenging track geometry.

Keywords: Railway, Infrastructure, Level Crossing, Curve, Design, Safety.

* Luka Lazarević, Univerzitet u Beogradu, Građevinski facultet, Beograd, Srbija, llazarevic@grf.bg.ac.rs,

1. UVOD

Putni prelazi u nivou (skr. prelazi u nivou) predstavljaju stalni bezbednosni rizik i za drumski i za železnički transportni sistem širom sveta. Kako se postojeća železnička mreža rekonstruiše da bi se prilagodila većim brzinama i povećanom obimu saobraćaja, rizici povezani sa prelazima u nivou, posebno u slučaju složene geometrije koloseka, postaju sve izraženiji.

Primetno je da su nesreće na prelazima u nivou drugi najčešći tip železničkih nesreća u EU, sa 224 smrtna slučaja i 186 teških povreda zabeleženih u 2023. godini [1].

Da bi se rešili ovi bezbednosni izazovi, Međunarodna železnička unija (UIC) razvila je niz tehničkih uputstava sa smernicama za planiranje infrastrukture i merama bezbednositi u praksi. UIC objava 762 [2] služi kao ključna referenca za projektovanje i upravljanje prelazima u nivou na železničkim prugama sa brzinama vozova od 120 km/h do 200 km/h. Objavljena kao dodatak UIC objavi 761 [3], koja opisuje opšte principe za automatske sisteme za prelaze u nivou, UIC objava 762 [2] pruža ciljanu preporuku za rešavanje jedinstvenih rizika vezanih za brzi železnički saobraćaj. To uključuje poboljšane sisteme upozorenja (kao što je objašnjeno u [4]), optimizovana rešenja branika i poboljšanu integraciju sa centralizovanom kontrolom vozova. Objava ističe potrebu za svođenjem broja prelaza u nivou na minimum i, tamo gde su i dalje neophodni, primenu strogih bezbednosnih standarda kako bi se postigla pouzdana zaštita i za drumski i za železnički saobraćaj [5].

Uprkos ovim smernicama, postoji značajan nedostatak u rešavanju problema prelaza u nivou koji se nalaze u krivinama koloseka, posebno onih sa velikom vrednošću nadvišenja i malim radijusima. Ovakvi prelazi u nivou predstavljaju značajne

izazove zbog svoje složene geometrije i smanjene vidljivosti, a važeći standardi pružaju ograničene praktične smernice za takve scenarije.

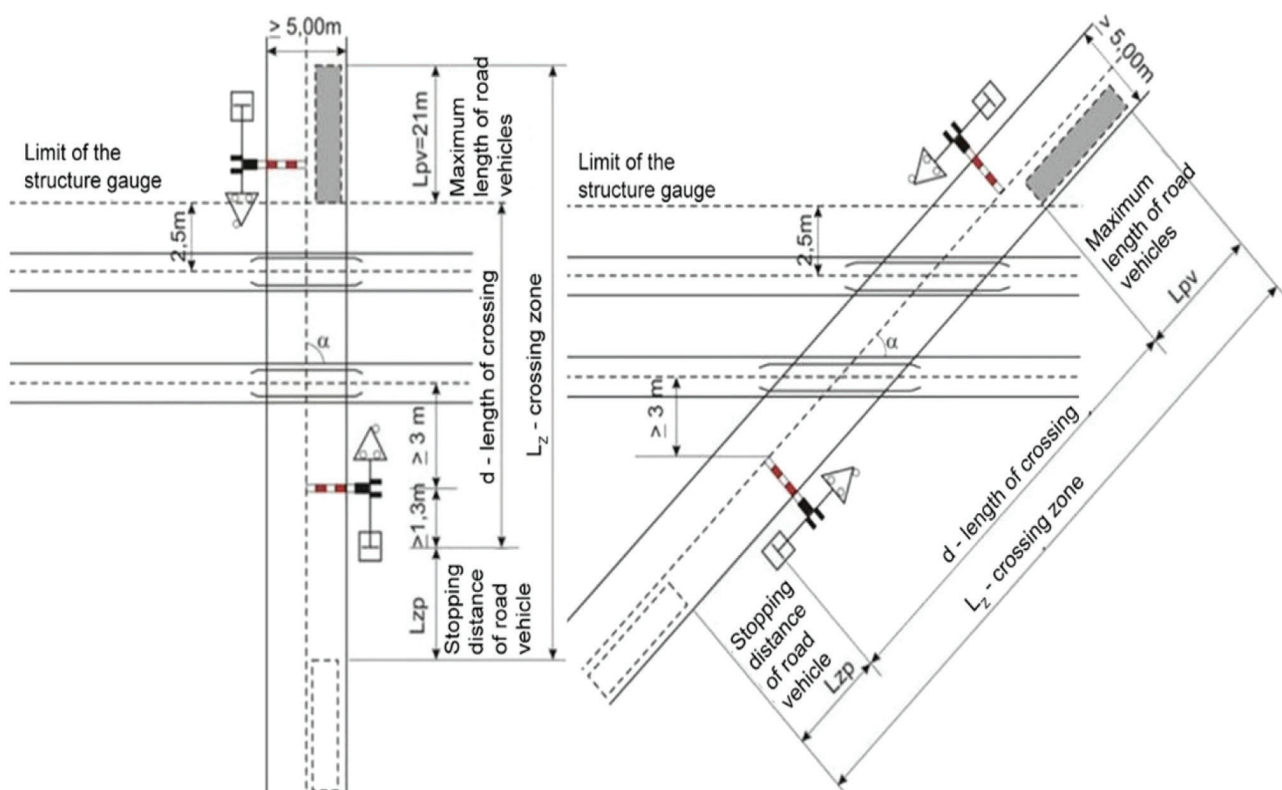
Ovaj rad ima za cilj da premosti tu prazninu predstavljanjem inženjerskih rešenja i bezbednosnih mera posebno prilagođenih prelazima u nivou na deonicama u krivinama. Rad ukratko opisuje osnovne principe projektovanja prelaza u nivou, a zatim se primarno bavi prelazima u nivou koji se nalaze u krivinama, analizirajući njihove specifične rizike i ograničenja u procesu projektovanja. Štaviše, predstavljena su inženjerska rešenja koja bi se mogla primeniti u takvim slučajevima. Na kraju, poslednji deo rada daje ključne zaključke i preporuke.

2. GLAVNI PRINCIPI ZA PROJEKTOVANJE PRELAZA U NIVOU

Idealan prelaz u nivou pretpostavlja da su i železnička pruga i put u pravcu, sa uglom ukrštanja od 90°. Pošto parametri projektovanja puta generalno imaju veću fleksibilnost, trasa železničke pruge treba da bude prioritet u procesu projektovanja kad god je to moguće. Nakon toga, trasa puta treba da se prilagodi kako bi se uskladila sa projektnim rešenjem pruge.

Kada je pruga u pravcu u zoni prelaza u nivou, njen podužni nagib treba da se poklapa sa poprečnim nagibom puta kako bi se obezbedio nesmetan i bezbedan saobraćaj.

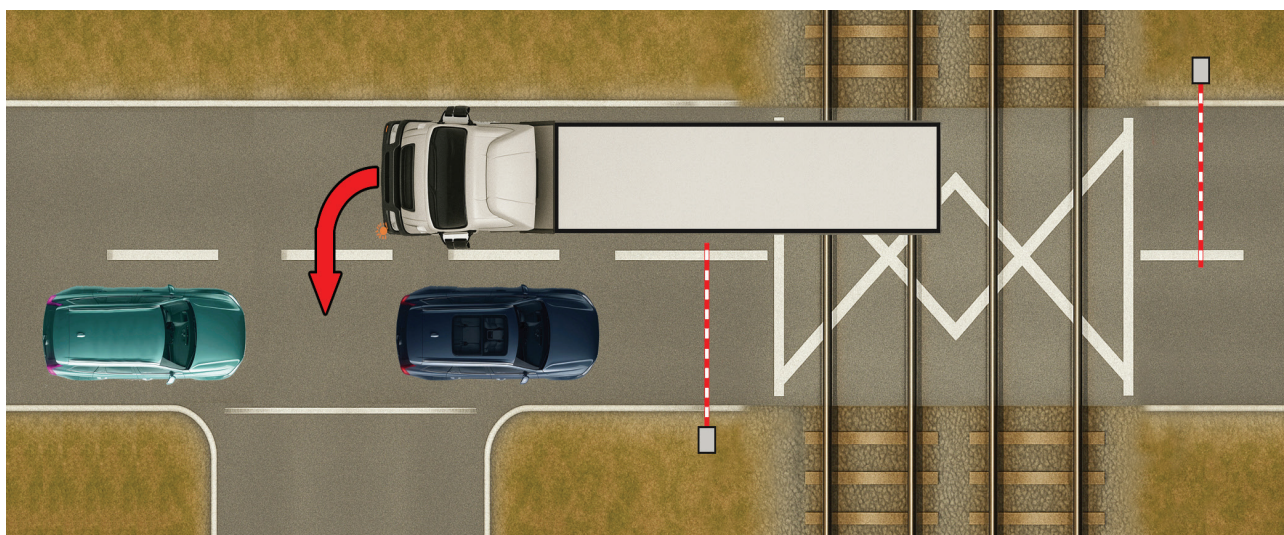
Prema [6,7], poželjno je da prelazi u nivou budu projektovani sa uglom ukrštanja od 90° ili manje, ali ne ispod 60° (Slika 1). Nasuprot tome, Priručnik [8] propisuje minimalni ugao ukrštanja od 70°. Pažljivo razmatranje ovih geometrijskih parametara neophodno je za održavanje bezbednosti saobraćaja i svođenje rizika od nezgoda na najmanju moguću meru.



Slika 1. Prelaz u nivou sa uglom ukrštanja: $a = 90^\circ$ (levo) i $a < 90^\circ$ (desno) [6,7].

Prisustvo putne krivine u zoni prelaza u nivou ugrožava raspoloživu vidljivost, potencijalno preusmeravajući fokus vozača na savladavanje krivine [9]. Pored toga, sve raskrsnice puteva u blizini prelaza u nivou treba da budu postavljene na do-

voljnoj udaljenosti da bi se smanjio rizik od sudara koji može da nastane usled toga što vozilo ne može da napusti kolosek pre prolaska voza (Slika 2). Ovo predstavlja problem koji se često zanemaruje pri projektovanju prelaza u nivou [10].



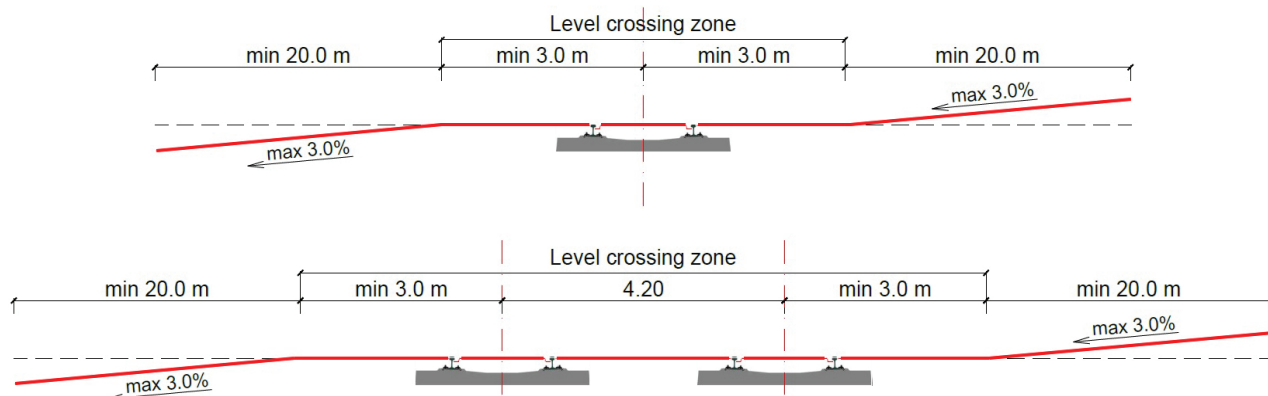
Slika 2. Potencijalni rizik da vozilo ne uspe da napusti kolosek na prelazu u nivou.

Generalno, prelazi u nivou ne bi trebalo da se nalaze u krivinama na pruzi. Kod prelaza u nivou u krivini, drumska vozila koja se približavaju sa spoljašnje strane krivine imaju bolju vidljivosti u odnosu na ona koja se približavaju sa unutrašnje strane.

Kada izbegavanje prelaza u nivou na deonici pruge u krivini nije moguće, podužni nagib puta mora biti projektovan tako da odgovara poprečnom nagibu koloseka. Za železničke pruge sa više koloseka, preporučuje se primena horizontalne nivelete puta u zoni prelaza u nivou. Ukoliko nije moguće izbeći postavljanje prelaza u nivou u krivinu, po-

željno je da kolosek bude projektovan bez nadvišenja [11,12]. Međutim, postoje prelazi u nivou u krivinama malih radijusa na postojećim dvokolosečnim prugama, koji se ne mogu zameniti nadvožnjakom ili podvožnjakom u bliskoj budućnosti.

Niveleta puta na prelazu u nivou mora da se poklapa sa visinskom kotom površi kotrljanja koloseka na rastojanju od 3,0 m mereno od ose koloseka sa svake strane za jednokolosečne pruge, odnosno od ose najudaljenijeg koloseka za višekolosečne pruge [6,7]. Podužni nagib puta ne sme da bude veći od 3% na minimalnoj dužini od 20 m neposredno pre i posle prelaza u nivou (Slika 3).

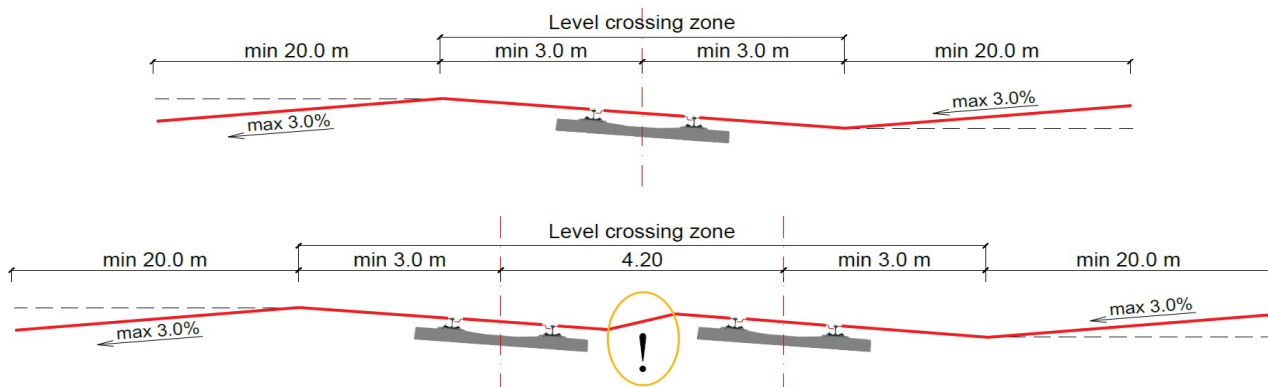


Slika 3. Podužni profil puta u zoni prelaza u nivou na jednokolosečnoj (gore) i dvokolosečnoj (dole) železničkoj pruzi.

Vertikalne krivine puta na oba prilaza putnom prelazu u nivou treba da ispunjavaju zahteve za drumsko vozilo sa najvećim međuosovinskim rastojanjem, kako bi se sprečilo zaglavljivanje vozila na prelazu i izbeglo oštećenje i kolovoza i vozila prilikom prelaska preko vertikalne krivine [11-13].

3. PRELAZ U NIVOU U KRIVINI KOLOSEKA

Na slici 4 prikazan je podužni profil puta u prelazu u nivou, u slučaju jednokolosečne i dvokolosečne železničke pruge u horizontalnoj krivini. Konkretno, na slici 4. (dole) prikazana je složena niveleta puta u slučaju dvokolosečne železničke pruge u horizontalnoj krivini.



Slika 4. Primeri podužnog profila puta na prelazu u nivou u krivini koloseka.

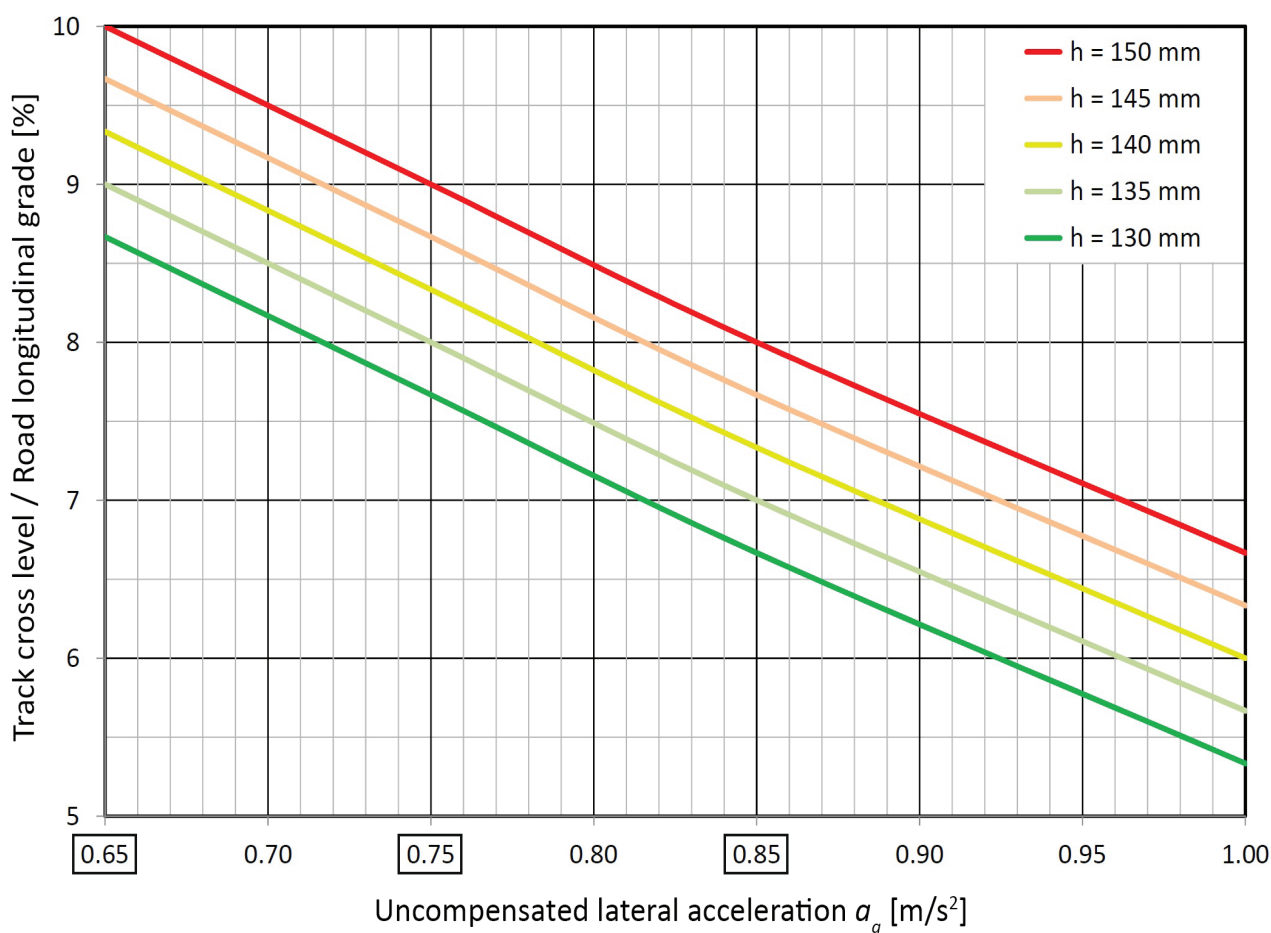
Minimalni poluprečnik krivine u blizini prelaza u nivou nije eksplicitno definisan tehničkim propisima. Ipak, određene preporuke mogu se izvesti na osnovu dozvoljenih vrednosti nadvišenja koloseka. Za krivine sa minimalnim poluprečnikom, gornja granica za nadvišenje je 150 mm, što odgovara maksimalnom poprečnom nagibu koloseka od približno 10%, uzевši u obzir da standardna širina koloseka iznosi približno 1500 mm.

Strmi podužni nagibi nivelete puta na prelazima u nivou generalno se ne preporučuju iz sledećih razloga:

1. bezbednosni rizici: vozila mogu imati poteškoća sa zaustavljanjem ili pokretanjem na strmim usponima, posebno u vlažnim uslovima ili u prisustvu leda, čime se povećava verovatnoća sudara sa vozovima;
2. problemi sa kontrolom vozila: veća ili teža vozila, kao što su kamioni i autobusi, mogu se zaustaviti ili krenuti unazad pri pokušaju kretanja uzbrdo;

3. poremećaj toka saobraćaja: smanjene brzine prelaska na strmim prilazima mogu dovesti do zagušenja, produženja prisustva drumskog vozila unutar zone koloseka i povećanje rizika od incidenata.

Ako je potrebno da se prelaz u nivou postavi u krivini koloseka sa minimalnim radijusom zbog značajnih prostornih ograničenja, onda prvo treba analizirati mogućnost smanjenja vrednosti nagiba koloseka. Vrednost nagiba koloseka može se smanjiti, što podrazumeva povećanje manjka nadvišenja i, posledično, povećanje neponištenog bočnog ubrzanja za posmatranu krivinu koloseka. Nacionalni tehnički propisi [14] dozvoljavaju tri nivoa neponištenog bočnog ubrzanja: normalna (0,65 m/s²), minimalna (0,75 m/s²) i izuzetna (0,85 m/s²) vrednost. Shodno tome, na slici 5 prikazano je moguće smanjenje poprečnog nagiba koloseka u funkciji neponištenog bočnog ubrzanja.



Slika 5. Korelacija između neponištenog bočnog ubrzanja i poprečnog nagiba koloseka.

Prema slici 5, može se zaključiti da minimalna vrednost neponištenog bočnog ubrzanja odgovara smanjenju poprečnog nagiba koloseka za 1% (smanjenje nadvišenja za 15 mm), dok izuzetna vrednost ubrzanja odgovara smanjenju poprečnog nagiba koloseka za 2% (smanjenje nadvišenja za 30 mm). Stoga, za krivinu minimalnog radijusa sa nadvišenjem od 150 mm, bilo bi moguće smanjiti poprečni nagib koloseka sa 10% na 8%, tj. smanjiti nadvišenje na 120 mm. Uzimajući u obzir maksimalnu vrednost manjka nadvišenja propisanu u [15], nadvišenje koloseka bi se moglo smanjiti na 100 mm u krivini sa minimalnim radijusom, što se poklapa sa neponištenim bočnim ubrzanjem od 1,00 m/s² i poprečnim nagibom koloseka od 6,67%.

Međutim, promena poprečnog nagiba koloseka na dvokolosečnoj pruzi ne bi rešila problem složene geometrije površine puta (slika 4, dole). Stoga, nagla promena nagiba između dva koloseka i dalje ostaje glavni problem. U slučaju osnovog rastojanja koloseka od 4,2 m, postojala bi visinska razlika od 0,26 m na dužini od 1,02 m, što odgovara podužnom nagibu od 25,5% (Slika 6b). U ovom slučaju, autori preporučuju promenu nivelete levog ili desnog koloseka, u zavisnosti od lokalnih uslova, kako bi se postiglo da se površi kotrljanja za oba koloseka nalaze u približno istoj ravni (slika 6c). Ovo rešenje obezbeđuje ujednačenu geometriju kolovoza na prelazu u nivou, omogućavajući tako vozilima sa velikim osovinskim rastojanjem bezbedno prelaženje.

Autori preporučuju korišćenje rešenja sa slike 6a i slike 6c kao standardnih poprečnih profila prelaza u nivou na dvokolosečnoj železničkoj pruzi za kolosek u pravcu i krivini, respektivno. S druge strane, standardni poprečni profil na slici 6b predstavlja rešenje koje treba izbegavati zbog značajnih rizika po bezbednost saobraćaja. pruzi za kolosek u pravcu i krivini, respektivno. S druge strane, standardni poprečni profil na slici 6b predstavlja rešenje koje treba izbegavati zbog značajnih rizika po bezbednost saobraćaja.

4 ZAKLJUČAK

Prelazi u nivou i dalje predstavljaju kritičnu tačku ranjivosti u savremenom železničkom transportu, posebno zato što se postojeća železnička infrastruktura nadograđuje za veće brzine i povećanu gustinu saobraćaja. Shodno tome, treba uložiti napore da se smanji broj prelaza u nivou, uz istovremeno osiguravanje da su oni koji se zadržavaju projektovani i održavani tako da ispunjavaju najviše bezbednosne standarde.

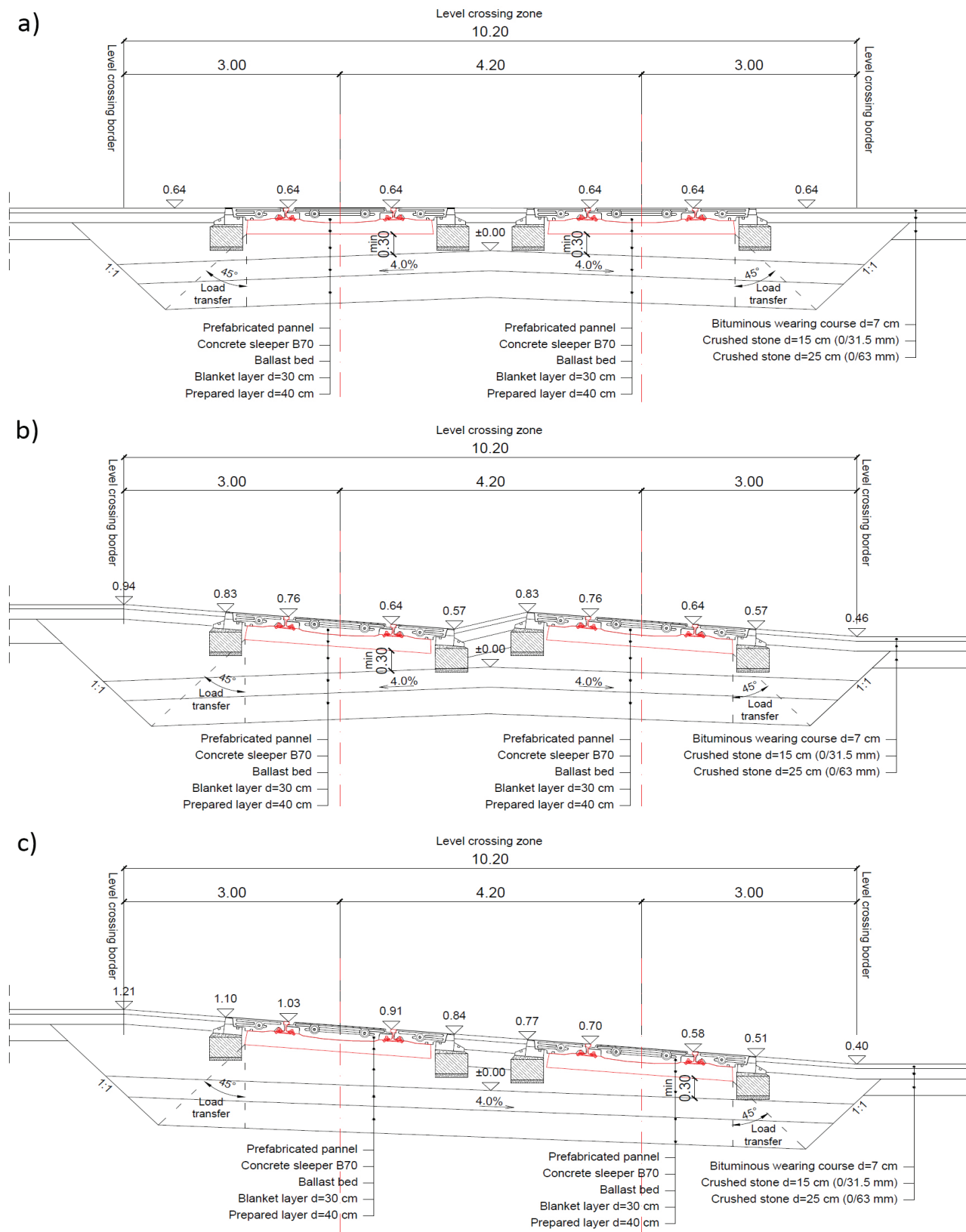
Ovaj rad opisuje glavne principe za projektovanje prelaza u nivou, sa posebnim fokusom na one prelaze koji se nalaze u krivinama koloseka, naročito one sa velikim nadvišenjem i malim radijusima na dvokolosečnim železničkim prugama. Ovakvi prelazi u nivou nose dodatne saobraćajne rizike zbog složene nivelete puta. Stoga, autori preporučuju primenu odgovarajućih inženjerskih rešenja za ublažavanje specifičnih rizika povezanih sa prelazima u nivou u krivinama, što podrazumeva:

- smanjenje poprečnog nagiba pruge, u skladu sa dozvoljenim neponištenim bočnim ubrzanjem, kako bi se smanjio podužni nagib puta koji se ukršta sa prugom, i
- modifikovanje nivelete levog ili desnog koloseka na dvokolosečnim železničkim prugama kako bi se postigla jednostavnija niveleta puta.

Očekuje se da će primena predloženih preporuka poboljšati bezbednost i pouzdanost prelaza u nivou koji se nalaze u krivinama pruge. Međutim, modifikovanje nivelete koloseka i slojeva donjeg stroja su praktične samo uz rekonstrukciju značajne deonice železničke pruge, kao i puta u blizini prelaza u nivou. Stoga je ovaj pristup izvodljiv samo u okviru predstojećih projekata modernizacije i rekonstrukcije železničkih pruga.

ZAHVALNICA

Ovo istraživanje je podržalo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije kroz istraživački projekat br. 200092.



Slika 6. Tipični poprečni presezi prelaza u nivou u slučaju: (a) koloseka u pravcu, (b) koloseka u krivini i (c) izmenjene nivelete jednog od koloseka u krivini.

LITERATURA

- [1] Eurostat: Railway safety statistics in the EU (2024). <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/94376.pdf>
- [2] UIC: UIC Code 762 – Safety measures to be taken at level crossings on lines operated from 120 to 200 km/h. 2nd edn. UIC, Paris (2005).
- [3] UIC: UIC Code 761 – Guidance on the automatic operation of level crossings. 4th edn. UIC, Paris (2004).
- [4] Carletti, V., Greco, A., Saggese, A., et al.: Improving safety through advanced obstacle detection at railway level crossings. *J. Ambient Intell. Human Comput.* (2025). <https://doi.org/10.1007/s12652-025-04987-z>
- [5] Aoun, R.B., El Koursi, E.M., Lemaire, E.: The cost benefit analysis of level crossing safety measures. *WIT Trans. Built Environ.* 114, 851–862 (2010). <https://doi.org/10.2495/CR100771>
- [6] Pravilnik o načinu ukrštanja železničke pruge i puta, pešačke ili biciklističke staze, mestu na kojem se može izvesti ukrštanje i merama za osiguranje bezbednog saobraćaja (eng. Rulebook on the Level Crossings of Railway Lines with Roads, Pedestrian and Bicycle Paths, the Permitted Locations for Such Crossings and Measures for Achieving Traffic Safety). *Službeni glasnik RS* 89 (2016).
- [7] Pravilnik o načinu ukrštanja željezničke pruge i puta (322) (eng. Rulebook on the Level Crossings of Railway Lines with Roads). *Službeni glasnik Republike Srpske* br. 89 (2021).
- [8] U.S. Department of Transportation: Railroad-Highway Grade Crossing Handbook – Revised Second Edition. (2017) Available at: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/86215/86215.pdf>
- [9] Lenné, M.G., Rudin-Brown, C.M., Navarro, J., Edquist, J., Trotter, M., Tomasevic, N.: Driver behaviour at rail level crossings: Responses to flashing lights, traffic signals and stop signs in simulated rural driving. *Appl. Ergon.* 42(4), 548–554 (2011). <https://doi.org/10.1016/J.APERGO.2010.08.011>
- [10] Anagnostopoulos, A.: Assessing safety and infrastructure design at railway level crossings through microsimulation analysis. *Future Transp.* 5(1), 24 (2025). <https://doi.org/10.3390/futuretransp5010024>
- [11] Vilotijević, M., Lazarević, L., Popović, Z.: Railway/Road Level Crossing Design – Aspect of Safety and Environment. In: Murgul, V., Popovic, Z. (eds.) *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport (EMMFT 2017), Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 692, pp. 1–10. Springer, Cham (2018). https://doi.org/10.1007/978-3-319-70987-1_84
- [12] Vilotijević, M., Lazarević, L., Popović, Z.: Design of level crossing. In: 3rd International Scientific Meeting “State and Trends of Civil and Environmental Engineering” E-GTZ, pp. 781–788. Faculty of Mining, Geology and Civil Engineering, Tuzla (2016).
- [13] Lorenz, A.: Linienführung und Gradienten am Bahnübergang. *EI-Eisenbahningenieur* 58(10), 20–21 (2007).
- [14] Pravilnik o tehničkim uslovima i održavanju gornjeg stroja železničkih pruga (engl. Rulebook on Technical Requirements and Maintenance of the Railway Track Superstructure). *Službeni glasnik RS* 39/2016, 74/2016.
- [15] CEN: EN 13803:2017, Railway applications - Track - Track alignment design parameters - Track gauges 1,435 mm and wider. (2017).

AVEB APLIKACIJA ZA PREDVIĐANJE NEZGODA NA PUTNO-PRUŽNIM PRELAZIMA KORIŠĆENJEM HETEROGENOG MODELA SISTEMA REDOVA ČEKANJA

WEB APPLICATION FOR ACCIDENT PREDICTION AT ROAD-RAIL WAY CROSSINGS USING A HETEROGENEOUS QUEUEING SYSTEM MODEL

UDK: 656.2+004:656.2+654.9

REZIME:

U ovom radu je predstavljena veb aplikacija koja simulira prethodno objavljeni teorijski model maksimalnog rizika od sudara na putno-pružnim prelazima. Primarni cilj istraživanja je da se obezbedi praktična softverska implementacija modela heterogenog sistema redova čekanja za procenu potencijalnog rizika od nezgoda koristeći različite ulazne parametre. Jezgro rešenja se oslanja na teorijsku osnovu dizajniranu da kvantifikuje verovatnoću sudara pod različitim faktorima i uslovima. Da bi se implementirao model, kreiran je skup test scenarija (slučajeva) za simulaciju različitih saobraćajnih uslova i konfiguracija prelaza, omogućavajući validaciju teorijskih pretpostavki. Veb aplikacija je razvijena koristeći Java Spring Boot za osnovnu platformu, PostgreSQL za skladištenje podataka i veb interfejs zasnovan na Angular-u koji pruža vizuelizaciju, sortiranje i rangiranje izračunatih vrednosti rizika. Predstavljena aplikacija pokazuje kako se uspostavljeni teorijski modeli mogu implementirati i analizirati putem modernih veb tehnologija kako bi se podržala dalja istraživanja i donošenje odluka u proceni bezbednosti putno-pružnih prelaza.

Ključne reči: veb aplikacija, Java, Angular, PostgreSQL, bezbednost, putno-pružni prelazi

SUMMARY:

In this paper, a web application is presented that simulates a previously published theoretical model of occurrence maximum crash risk at road-rail crossings. The primary objective of the research is to provide practical software implementation of a model Heterogeneous Queueing System for estimating potential accident risk using various input parameters. The core of the solution relies on a theoretical foundation designed to quantify the likelihood of collisions under different factors and conditions. To implement the model, a set of test scenarios (cases) was created to simulate various traffic conditions and crossing configurations, enabling validation of the theoretical assumptions. The web application was developed using Java Spring Boot for the backend, PostgreSQL for data storage, and an Angular-based web interface that provides visualization, sorting, and ranking of the calculated risk values. The presented application demonstrates how established theoretical models can be implemented and analyzed through modern web technologies to support further research and decision-making in road-rail crossing safety assessment.

Keywords: Web application, Java, Angular, PostgreSQL, Safety, Road-rail crossings

* Marko Ercegovac, Univerzitet Singidunum, Beograd, markoercegovac97@gmail.com

1. UVOD I METODOLOGIJA

Putno-pružni prelaz u nivou može da se konceptualizuje kao sistem masovnog opsluživanja (SMO) koji opslužuje vozila iz dva interakciona saobraćajna podsistema: željeznice i drumova. U svrhu simulacije, usvojen je postojeći objavljeni model [1], a statistički parametri definisani u okviru tog modela koriste se kao ulazni podaci za razvoj veb aplikacije. Aplikacija uključuje geometrijske ka-

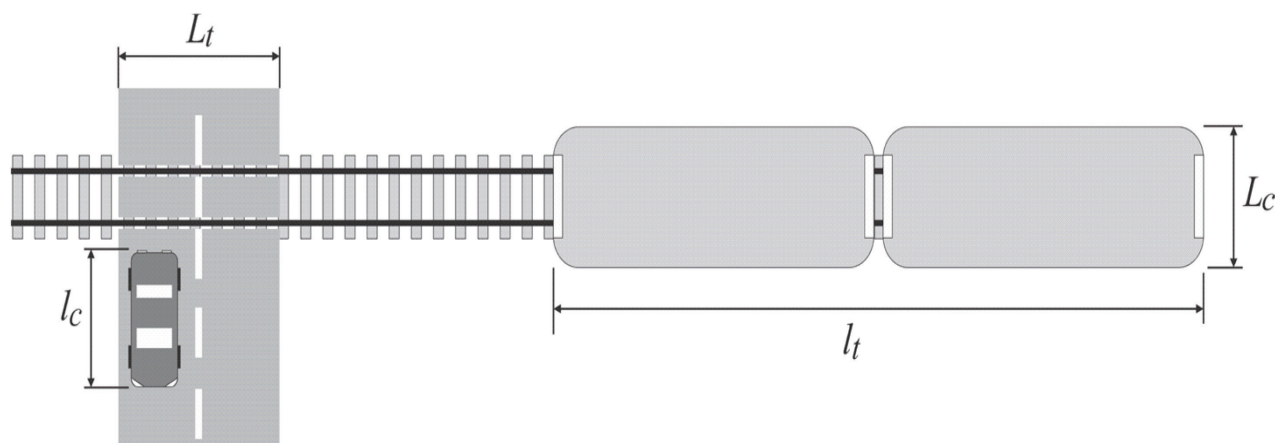
rakteristike prelaza, kinematičke (brzinske) faktore drumskog i željezničkog saobraćaja i verovatnoće stanja heterogenog sistema redova čekanja [2].

1.1. Ulazni parametri

Aplikacija koristi statističke parametre [2] navedene u Tabeli I. Geometrijske karakteristike putno-pružnog prelaza su ilustrovane na Slici 1.

Tabela 1. Statistički parametri korišćeni u aplikaciji.

Simbol	Opisi simbola
l_c	Kritična dužina puta povezana sa pružnim prelazom (m)
l_t	Prosečna dužina voza (m)
L_c	Kritično rastojanje za drumska vozila, jednako prosečnoj čeonj dužini voza ili efektivnoj širini opasne zone prelaza (m)
L_t	Kritično rastojanje za željeznička vozila, jednako prosečnoj čeonj širini (ili dužini blokiranja) prelaza koji zauzima voz (m)
λ_c	Prosečan dnevni intenzitet drumskih vozila na putno-pružnom prelazu (vozila po danu)
λ_t	Prosečan dnevni intenzitet vozova na putno-pružnom prelazu (vozova po danu)
v_c	Prosečna brzina drumskih vozila koja se približavaju i prolaze preko pružnog prelaza (m/s)
v_t	Prosečna brzina vozova koji prolaze preko pružnog prelaza (m/s)
T	Broj godina koje se razmatraju u analizi nezgoda
n_{real}	Ukupan broj stvarnih nezgoda zabeleženih tokom perioda posmatranja T



Slika 1. Ključni geometrijski parametri putno pružnog prelaza

Broj zabeleženih nezgoda i incidenata može se normalizovati u odnosu na broj drumskih vozila statistički posmatranih na pružnom prelazu n_{real} tokom perioda posmatranja. Ova normalizacija

omogućava izračunavanje intenziteta nezgode ili incidenata po vozilu, tj. verovatnoće da će nasumično izabrano vozilo biti uključeno u događaj. Realna verovatnoća nezgode preal izračunava se na osno-

vu ukupnog broja zabeleženih vozila, n_{real} , tokom perioda posmatranja T . Ona predstavlja normalizovani broj vozila koja prelaze preko pružnog prelaza dnevno i po jedinici dužine kritične deonice puta. Parametar je definisan na sledeći način:

$$p_{real} = \frac{n_{real}}{T \cdot 365 \cdot \lambda_c}$$

Ovaj parametar se koristi u naknadnim proračunima za određivanje izloženosti riziku i verovatnoće nastanka nezgode po vozilu. Teorijska verovatnoća nezgode p_{theory} određuje se na osnovu broja simuliranih vozila n_{theory} dobijenih iz usvojenog modela [1]:

$$p_{theory} = \frac{n_{theory}}{T \cdot 365 \cdot \lambda_c}$$

Sintetička pouzdanost rada R izražava relativno odstupanje između teorijske i realne verovatnoće nezgode i definiše se kao relacija:

$$p_{real} = \frac{p_{theory} - p_{real}}{p_{theory}}$$

Veća vrednost R ukazuje na bolje slaganje između teorijskog modela i stvarnih sistema, a samim tim i veće sintetičke pouzdanosti putno-pružnog prelaza. Komplementarna vrednost sintetičke pouzdanosti predstavlja rizik putno-pružnog prelaza i data je sa:

$$r = R - 1$$

gde je:

r — rizik putno-pružnog prelaza,

R — sintetička pouzdanost.

Nakon što su svi parametri uneti, aplikacija izračunava sintetičku pouzdanost rada (R) i maksimalni teorijski rizik, koji služe kao ključni indikatori za procenu bezbednosnih performansi putno-pružnog prelaza.

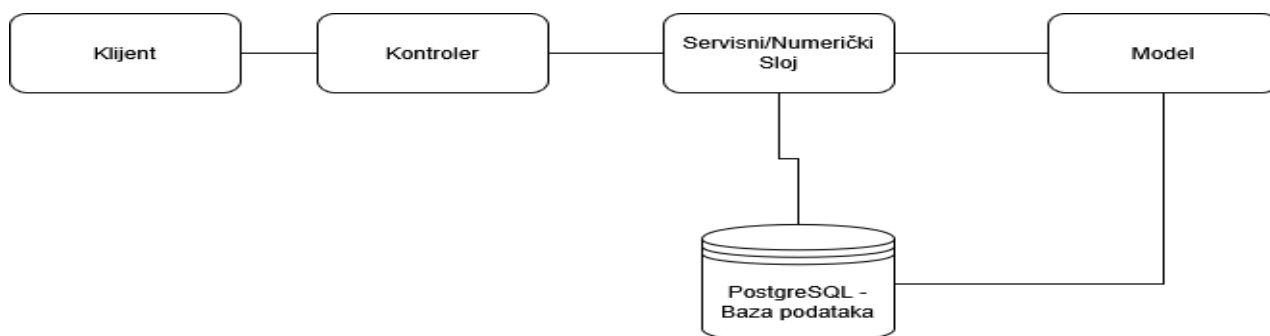
2. IMPLEMENTACIJE I REZULTATI

2.1. Arhitektura veb aplikacije

Na osnovu prethodno opisanog modela heterogenog sistema redova čekanja (SMO), razvijena je veb aplikacija za implementaciju predložene metodologije za procenu rizika na putno-pružnim prelazima. Aplikacija je dizajnirana sa fokusom na modularnost, skalabilnost i jednostavnost korišćenja, obezbeđujući efikasno izračunavanje i jasnu vizuelizaciju izračunatih indikatora bezbednosti.

Arhitektura sistema je jednostavna, ali robusna, i sastoji se od tri osnovne komponente. PostgreSQL [3] baza podataka služi kao sloj za skladištenje podataka, odgovoran za upravljanje svim statističkim, geometrijskim i simulacionim parametrima. Serverska aplikacija, implementirana korišćenjem Java [4] Spring Boot [5] okvira, obrađuje izračunavanje modela, procenu rizika i logiku obrade podataka. Korisnički interfejs, razvijen pomoću Angular okvira [6], pruža intuitivno i interaktivno okruženje koje omogućava korisnicima da unose parametre, vizualizuju rezultate i tumače izračunate indikatore kao što su pouzdanost i nivoi rizika.

Komunikacija između klijenta i servera ostvaruje se putem RESTful API-ja [7], što obezbeđuje fleksibilnost i potencijalnu integraciju sa spoljnim analitičkim ili sistemima za prikupljanje podataka. Predložena arhitektura sistema je ilustrovana [8] na slici 2.



Slika 2. Predložena arhitektura veb aplikacije.

Veb aplikacija je u potpunosti implementirana da prati predloženu arhitekturu. Radi transparentnosti i reproduktivnosti, kompletan izvorni kod i uputstva za implementaciju dostupni su u javnom GitHub [9] repozitorijumu.

Repozitorijum pruža pristup osnovnoj platformi aplikacije Spring Boot [5], frontendu Angular [6] i konfiguraciji baze podataka PostgreSQL [3], omogućavajući drugim istraživačima da reprodukuju ili prošire predstavljene rezultate.

Putno-pružni prelaz je u informacionom modelu predstavljen kao jedan entitet, dizajniran da podrži unos i geometrijskih i stohastičkih specifikacija prelaza.

Entitet sadrži sledeće attribute: jedinstveni identifikator (id), naziv putno-pružnog prelaza, naziv železničke pruge na kojoj se nalazi putno-pružni prelaz i naziv puta koji prelazi preko pruge. Dodatni parametri uključuju nivo zaštite [10] (vrstu sigurnosne opreme) kako je prikazano na slici 3.

Forma za unos osnovnih informacija o putno-pružnom prelazu

I. Osnovne informacije

Naziv putno-pružnog prelaza

Buđanovci

Naziv pruge i stacionaža u kilometrima

Pruga br. 211 km 3+285

Naziv puta na prelazu

Lokalni put L-1

Nivo obezbeđenja putno-pružnog prelaza („Službeni glasnik RS”, br. 89/2016)

Putni prelaz je pasivan i obezbeđen je sa saobraćajnim znacima na putu i na pruzi i zonom potrebne preglednosti (trougao preglednosti).

Slika 3. Obrazac za unos opštih informacija o putno-pružnom prelazu.

Entitet uključuje prosečan dnevni broj drumskih vozila i vozova, kao i ključne geometrijske i kinematičke parametre, kao što su: prosečne dužine, kritične udaljenosti i brzine vozila i vozova. Tako-

đe čuva period posmatranja koji se koristi za analizu nezgoda i ukupan broj zabeleženih nezgoda. Primer strukture entiteta sa njegovim atributima prikazan je na slici 4.

II. Statistički parametri

Dnevni protok vozila (λ_v) [vozila/dan]

Prosečna dužina drumskog vozila (l_v) [m]

Srednja brzina drumskih vozila preko putno-pružnog prelaza (v_v) [km/h]

Dužina železničkog vozila preko kritičnog puta (L_v) [m]

Period posmatranja (T) [godine]

Dnevni protok vozova (λ_o) [vozova/dan]

Dužina drumskog vozila preko kritičnog puta (L_c) [m]

Prosečna dužina vozova (l_o) [m]

Srednja brzina vozova preko putno-pružnog prelaza (v_o) [km/h]

Broj evidentiranih nesreća/nezgoda (n_{real})

Slika 4. Formular za unos statističkih parametara putno-pružnog prelaza.

Korisnički interfejs (UI) veb aplikacije je razvijen korišćenjem AngularJS-okvira i uključuje grafički interfejs zasnovan na Material Design-u [11]. Aplikacija, takođe, podržava paginaciju, omogućavajući efikasno upravljanje i vizuelizaciju velikog broja zabeleženih putno-pružnih prelaza.

Korisnici mogu da unose i pregledaju podatke za više putno-pružnih prelaza, sa opcijama sortiranja dostupnim prema izračunatoj sintetičkoj pouzda-

nosti i riziku. Međutim, najznačajniji parametri za analizu su rizik i sintetička pouzdanost, koji služe kao primarni indikatori za procenu teorijske bezbednosti svakog putno-pružnog prelaza.

Grafički interfejs razvijene veb aplikacije [9], zajedno sa reprezentativnim rezultatima dobijenim testiranjem na odabranim putno-pružnim prelazima u Infrastruktura železnice Srbije a.d., prikazan je na slici 5.

Naziv putno-pružnog prelaza	Stepen sigurnosti	Pouzdanost↓	Rizik↑
Budanovci	Putni prelaz je pasivan i obezbeđen je saobraćajnim znacima na putu i pruži i zonom potrebne preglednosti (trougao preglednosti).	0.999617130414	0.000382869586
Brasina	Putni prelaz je pasivan i obezbeđen je saobraćajnim znacima na putu i pruži i zonom potrebne preglednosti (trougao preglednosti).	0.999839082554	0.000160917446
Kraljevci	Putni prelaz je aktivan i obezbeđen je automatskim polubranicama sa svetlosnim saobraćajnim znacima i saobraćajnim znacima na putu.	0.999908403544	0.000091596456
Štitar	Putni prelaz je aktivan i obezbeđen je branicima i saobraćajnim znacima na putu. Putnim prelazom, koji je mehanički i sa žicovodom, rukuje otpravnik vozova prilikom obezbeđenja puta vožnje.	0.999942933756	0.000057066244
Platičevo	Putni prelaz je aktivan i obezbeđen je polubranicama, svetlosnim i zvučnim signalima. Uređajem putnog prelaza upravlja se iz stanice.	0.999986629355	0.000013370645

Slika 5. Korisnički interfejs veb aplikacije i primer evaluiranih prelaza u Srbiji.

3 ZAKLJUČAK I BUDUĆI RAD

Svi rezultati predstavljeni putem korisničkog interfejsa su validirani u odnosu na već objavljeni model, potvrđujući njihovu ispravnost. Razvijena veb aplikacija stoga predstavlja korisnu implementaciju predloženog heterogenog modela sistema redova čekanja [1].

Štaviše, aplikacija omogućava unos podataka ne samo za putno-pružne prelaze u Republici Srbiji, već i za bilo koji prelaz širom sveta, jer omogućava izračunavanje odgovarajućih sintetičkih indikatora pouzdanosti i rizika.

Ovaj rad predstavlja implementaciju postojećeg modela, sa primarnim ciljem poboljšanja bezbednosti na putno-pružnim prelazima i smanjenja nesreća. Dalja poboljšanja mogu se postići integracijom veštačke inteligencije i prediktivnih modela zasnovanih na TensorFlow-u [12], kao i analizom slika zasnovanom na OCR-u [13], kako bi se podržalo inteligentno otkrivanje rizika i postiglo proaktivno poboljšanje bezbednosti. saobraćaja.

LITERATURA

- [1] Pamela Ercegovac, Gordan Stojić, Miloš Kopic, Željko Stević, Feta Sinani and Ilija Tanackov: "Model for Risk Calculation and Reliability Comparison of Level Crossings" doi: 10.1007/978-981-16-3056-9_1.
- [2] D. Gross and C. M. Harris, Fundamentals of Queueing Theory, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2008.
- [3] PostgreSQL Global Development Group, "PostgreSQL: The world's most advanced open source relational database," Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/>
- [4] Oracle Corporation, "Java Platform, Standard Edition Documentation," Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: <https://docs.oracle.com/javase/> Pivotal Software, Inc., "Spring Boot: Spring framework for rapid application development," Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: <https://spring.io/projects/spring-boot>
- [5] Google LLC, "Angular: Web application framework," Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: <https://angular.io/>
- [6] R. T. Fielding, "Architectural styles and the design of network-based software architectures," Doctoral dissertation, University of California, Irvine, 2000. [Online]. Available: https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/fielding_dissertation.pdf
- [7] JGraph Ltd., "diagrams.net (formerly draw.io): Online diagram editor," Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: <https://www.diagrams.net/>
- [8] Marko Ercegovac, "Web application for accident prediction at road-railway crossings," GitHub repository, Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: https://github.com/markoercegovac/road_rail_crossing
- [9] Republic of Serbia, "Regulation on technical requirements for level crossings," *Official Gazette of the Republic of Serbia*, No. 86/2016.
- [10] Material UI: React component library implementing Google's Material Design," Accessed: Oct. 6, 2025. [Online]. Available: <https://mui.com/>
- [11] A. Şener, B. Ergen, and M. Toğaçar, "Fault detection from images of railroad lines using the deep learning model built with the TensorFlow library," Turkish Journal of Science & Technology
- [12] C. Tastimur, M. Karakose, and E. Akin, "Image processing-based level crossing detection and foreign objects recognition approach in railways," International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers (IJAMEC), Special Issue, pp. 19–23, 2017.

PRETHODNO SAOPŠTENJE

DRAGO PUPAVAC*, LJUDRVIT KRPAN

OPTIMIZACIJA LJUDSKIH RESURSA U ŽELJEZNIČKOM SEKTORU: STUDIJA SLUČAJA HŽ INFRASTRUKTURE

OPTIMIZATION OF HUMAN RESOURCES IN THE RAILWAY SECTOR: A CASE STUDY OF HŽ INFRASTRUKTURA

UDK: 656.2+004: 656.2+519.8

REZIME:

Ljudski resursi predstavljaju jedan od ključnih strateških resursa željezničkih prometnih poduzeća i u 21. stoljeću. Fokus upravljanja sve se više pomiče s kvantitativnog pristupa – koji naglašava broj zaposlenika – na kvalitativni pristup koji stavlja naglasak na njihove kompetencije, učinkovitost i prilagodljivost. U ovom radu analiziraju se specifičnosti ljudskih resursa u željezničkom sektoru te se istražuju mogućnosti njihove optimizacije na primjeru poduzeća HŽ Infrastruktura. HŽ Infrastruktura (HŽI) je državno poduzeće zaduženo za upravljanje, održavanje i razvoj željezničke infrastrukture Republike Hrvatske. Istraživanje se temelji na SWOT analizi ljudskih resursa u HŽI-ju te uključuje prijedlog računalno podržanog modela za optimizaciju ljudskih resursa. Glavni zaključak rada jest da primjena modelskog pristupa u upravljanju ljudskim resursima omogućuje menadžerima donošenje informiranih i optimalnih odluka te provedbu simulacija koje omogućuju prilagodbu internim i vanjskim izazovima i ograničenjima.

Ključne reči: željeznički promet, ljudski resursi, HŽ Infrastruktura, optimizacija.

SUMMARY:

Human resources remain one of the key strategic assets of railway transport companies in the 21st century. The focus of human resource management is increasingly shifting from a quantitative approach centered on workforce numbers to a qualitative approach that emphasizes employee competencies, efficiency, and adaptability. This paper analyzes the specific characteristics of human resources in the railway sector and explores possibilities for their optimization using the case study of HŽ Infrastruktura. HŽ Infrastruktura (HŽI) is a state-owned company responsible for the management, maintenance, and development of the railway infrastructure in the Republic of Croatia. The research is based on a SWOT analysis of human resources within HŽI and includes the proposal of a computer-supported model for human resource optimization. The main conclusion of the paper is that a model-based approach to human resource management enables HR managers to make informed and optimal decisions, as well as to conduct simulations that allow adaptation to internal and external constraints and challenges.

Keywords: railway transport, human resources, HŽ Infrastruktura, optimization.

*Drago Pupavac, Veleučilište u Rijeci, Rijeka, Vukovarska 58, Republika Hrvatska, drago.pupavac@veleri.hr

1. UVOD

HŽ Infrastruktura (HŽI) državno je poduzeće odgovorno za upravljanje, održavanje i razvoj željezničke infrastrukture Republike Hrvatske. Poduzeće zapošljava oko 5 000 ljudi. Među čimbenicima koji determiniraju broj zaposlenih u željezničkoj industriji izdvajaju se: deregulacija željezničkog prometa, način upravljanja željezničkim prometom (konvencionalni ili automatski), obrazovanje željezničkih stručnjaka, sindikalna organiziranost sektora i državna regulacija. Deregulacija željezničkog prometa istaknut će povećanje proizvodnosti rada, smanjivanje troškova i smanjivanje broja zaposlenih kao jedan od prioriteta [20]. Prijelaz sa sustava konvencionalnog na sustav automatskog vođenja željezničkog prometa smanjuje potrebu za brojem zaposlenih [14]. Ova dva čimbenika opredjeljuju potražnju za radnom snagom na željezničkom tržištu rada. Ovome svakako treba pridodati i činjenicu da državna regulacija u smislu određivanja visine plaća i zabrane zapošljavanja pridonosi ograničavanju potražnje za željezničkim radnicima, kao i zahtjevi sindikata za očuvanjem postojećih neproaktivnih radnih mjesta. Ponuda radne snage u željezničkom prometu određena je obrazovanjem željezničkih radnika. Negativna demografska kretanja i smanjenje potražnje za radnicima željezničkih zanimanja utjecali su i na smanjenje broja upisanih u specijalizirana srednjoškolska kao i visokoškolska željeznička zanimanja.

Smanjenje ponude i potražnje za radnicima željezničkih zanimanja suočava odjel za ljudske resurse HŽI sa nizom izazova. Čimbenici koji određuju ponudu i potražnju za željezničkim radnicima zahtijevaju prilagođene HR strategije i rješenja kako bi se osigurala operativna učinkovitost i održivost željezničkog sustava. Oslanjanje odjela za ljudske resurse samo na strategije i programe kada poduzeće u narednom razdoblju treba manje ljudi u dugom roku nije održivo. S ciljem osiguranja postupnog prijelaza s troškovnog na razvojni model upravljanja ljudskim resursima u ovome radu potražit će se odgovori na sljedeća pitanja:

1. Koje su temeljne funkcije odjela za ljudske resurse?
2. Koje su specifičnosti upravljanja ljudskim resursima u željezničkom prometu?
3. Kako je organiziran odjel za ljudske resurse u HŽI?

4. Koje su prednosti i nedostaci postojeće radne snage u HŽI?
5. Kako unatoč svim unutarnjim i vanjskim ograničenjima kvantitativno i kvalitativno optimizirati broj zaposlenih u željezničkom infrastrukturnom poduzeću?

Istraživanje koristi sekundarne podatke iz Statističkih izvješća HŽI-ja [3], Poslovnog plana za 2025. godinu [4] te Pravilnika o sistematizaciji radnih mjesta [12]. Glavni doprinosi ovoga rada su: 1) primjena optimizacijskog modeliranja u upravljanju ljudskim resursima u državnom poduzeću za željezničku infrastrukturu — kontekstu koji je rijetko zastupljen u literaturi; 2) pokazivanje kako se Excel Solver može koristiti kao transparentan i ponovljiv alat za potporu odlučivanju u restrukturiranju ljudskih resursa; 3) pružanje simulacija scenarija koje pomažu menadžmentu u donošenju odluka u uvjetima proračunskih ograničenja.

2. PREGLED LITERATURE

Ljudski resursi u željezničkoj industriji postali su strateški proizvodni faktor i istodobno glavna sastavnica uspješnosti organizacije [5-7]. Ljudski resursi (HR) u željezničkom sektoru imaju ključnu ulogu u osiguravanju operativne učinkovitosti, sigurnosti te sposobnosti prilagodbe promjenjivim poslovnim i tehnološkim zahtjevima. Upravljanje ljudskim resursima jest korištenje ljudskih resursa radi postizanja organizacijskih ciljeva [17]. Ivancevich i Glueck [13] definirali su upravljanje ljudskim resursima kao funkciju u organizacijama koja omogućuje najučinkovitije korištenje ljudi (zaposlenika) radi postizanja organizacijskih i individualnih ciljeva. HR funkcija odgovorna je za širok raspon aktivnosti, od planiranja radne snage i zapošljavanja do odnosa sa zaposlenicima i usklađenosti s regulatornim standardima. Stoga HR funkcija pruža usluge operativnim funkcijama [15].

Međutim, danas to više nije dovoljno. Poslodavci sve češće žele da odjel ljudskih resursa, osim uslužne, ima i savjetodavnu ulogu te da pomaže vrhovnom menadžmentu u razvoju i provedbi dugoročnih planova i strategija [7,3]. Cilj strategije ljudskih resursa jest upravljanje radnom snagom i

oblikovanje radnih mjesta tako da se ljudi koriste učinkovito i efikasno [8].

Ključne funkcije HR-a u željezničkom sektoru uključuju [16]:

- **Planiranje radne snage i organizacijski razvoj.** Predviđanje budućih potreba za kadrovima, oblikovanje organizacijskih struktura te osiguravanje odgovarajuće kombinacije vještina i uloga radi ispunjavanja operativnih zahtjeva [21,2];
- **Zapošljavanje i privlačenje talenata.** Privlačenje, odabir i uvođenje novih zaposlenika, često na izrazito konkurentnom tržištu rada sa specijaliziranim zahtjevima za vještinama [23];
- **Naknade i beneficije.** Upravljanje platnim strukturama i pogodnostima za zaposlenike te osiguravanje konkurentne razine primanja radi zadržavanja talenata;
- **Upravljanje radnom uspješnošću.** Postavljanje ciljeva, vrednovanje radnog učinka zaposlenika i povezivanje individualnih doprinosa s ukupnim poslovnim ciljevima;
- **Obrazovanje i razvoj.** Identifikacija nedostataka u vještinama, provedba programa osposobljavanja te potpora razvoju karijera i planiranju nasljeđivanja;
- **Odnosi sa zaposlenicima i radni odnosi.** Rješavanje pritužbi, pregovaranje sa sindikatima i održavanje konstruktivnih industrijskih odnosa radi sprječavanja sporova i osiguravanja nesmetanog poslovanja;
- **Zdravlje, sigurnost i usklađenost.** Promicanje kulture sigurnosti, osiguravanje usklađenosti s propisima te upravljanje testiranjima na alkohol, droge i sigurnosnim provjerama;
- **Raznolikost, jednakost i uključenost.** Poticanje uključivog radnog okruženja koje privlači i zadržava raznoliku radnu snagu, što je ključno za inovacije i javni ugled.

Željeznička industrija suočava se s nizom specifičnih izazova u području ljudskih resursa [19]:

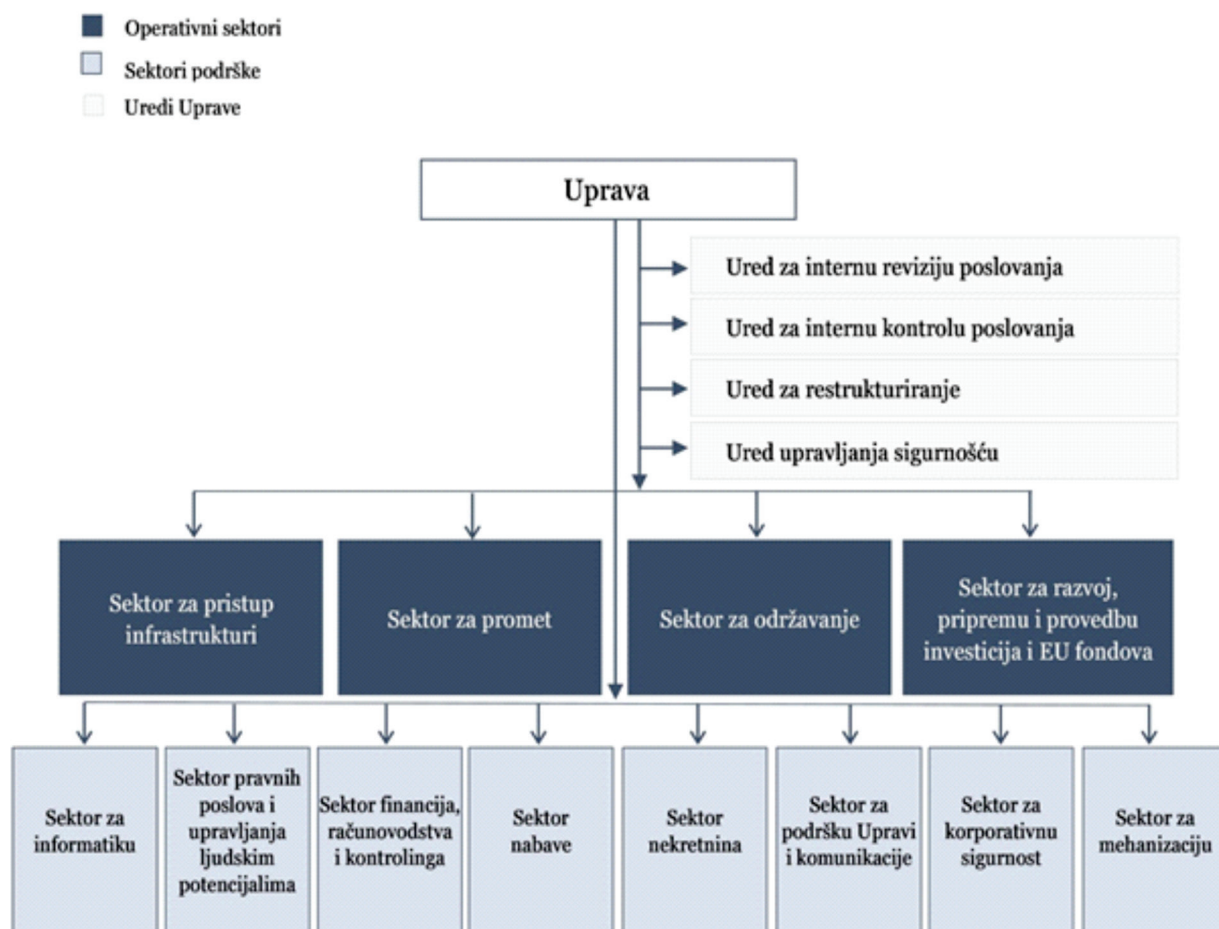
- **Rad 24/7.** Upravljanje smjenskim radom, rasporedima i umorom zaposlenika zbog neprekidnih zahtjeva za pružanjem usluga;

- **Geografski raspršena radna snaga.** Koordinacija zaposlenika na više lokacija i u različitim okruženjima, od urbanih kolodvora do udaljenih pruga;
- **Sigurnosno kritične uloge.** Osiguravanje da su svi zaposlenici adekvatno osposobljeni i sposobni za rad na poslovima gdje je sigurnost od presudne važnosti;
- **Tehnološki razvoj.** Prilagodba vještina radne snage novim tehnologijama, automatizaciji i digitalnim sustavima koji se sve više integriraju u željezničke operacije [14];
- **Industrijski odnosi.** Upravljanje složenim odnosima sa sindikatima te uravnoteženje potrebe za fleksibilnošću s postojećim uvjetima zapošljavanja.

Nadalje, istraživanja u području upravljanja ljudskim resursima u željezničkom sektoru ističu ključne čimbenike koji utječu na produktivnost, poput organizacijske kulture, stila vodstva i ergonomije zaposlenika [1]. Studije provedene u velikim javnim željezničkim organizacijama, poput Indijskih željeznica, pokazuju da su prakse upravljanja ljudskim resursima — kao što su zapošljavanje, osposobljavanje, sustav nagrađivanja i skrb o zaposlenicima — presudne za poboljšanje učinkovitosti, unatoč ograničenjima naslijeđenih sustava [18; 22].

3. ORGANIZACIJA ODJELA ZA LJUDSKE RESURSE U HŽ INFRASTRUKTURI

Sektor za upravljanje ljudskim potencijalima (odnosno ljudske resurse) u HŽ Infrastrukturi dio je šire organizacijske strukture ove državne tvrtke, koja je odgovorna za upravljanje, održavanje i razvoj željezničke infrastrukture Republike Hrvatske. Sektor za upravljanje ljudskim potencijalima nalazi se među tzv. sektorima podrške, zajedno sa sektorima za informatiku, financije, nabavu, nekretnine, pravne poslove, podršku Upravi i komunikacije, korporativnu sigurnost te mehanizaciju (detaljnije prikazano na slici 1).



Slika 1. Organizacijska shema HŽ Infrastruktura d.o.o.

Temeljem slike razvidno je da je odjel za ljudske potencijale dio Sektora pravnih poslova i upravljanja ljudskim potencijalima te da je sektor podređen Upravi društva. Unutar sektora, odjeli (poput odjela za ljudske po-

tencijale) imaju jasno definirane zadatke i odgovornosti, a zaposlenici unutar odjela izvještavaju voditelja odjela, koji dalje komunicira prema direktoru sektora. Odjel za ljudske potencijale organiziran je na način prikazan slikom 2.



Slika 2. Organizacija odjela za ljudske resurse HŽI (Izvor: Izrada autora prema [10])

Odjel za ljudske potencijale HŽ Infrastrukture organiziran je vertikalno kroz jasno definiranu hijerarhiju unutar sektora i društva, dok horizontalno ostvaruje suradnju s ostalim sektorima, odjelima i vanjskim partnerima, čime osigurava učinkovito upravljanje ljudskim resursima i podršku poslovnim ciljevima tvrtke. Odgovornosti odjela usmjerene su na razvoj i zadržavanje kvalitetnog kadra, povećanje učinkovitosti i konkurentnosti tvrtke te osiguranje usklađenosti s relevantnim zakonodavstvom i standardima.

4. PODACI I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Podaci potrebni za istraživanje u ovoj znanstvenoj raspravi prikupljeni su iz sekundarnih izvora podataka, i to: Statistika HŽ Infrastrukture, različita godišta, Poslovni plan 2025. i Pravilnik o sistematizaciji radnih mjesta. Temeljem tako prikupljenih podataka sastavit će se SWOT analiza ljudskih resursa HŽI. Nakon toga u proračunskoj tablici MS Excel razvit će se računalno podržani model za potrebe optimizacije ljudskih resursa u željezničkom infrastrukturnom poduzeću. Model treba osigurati kvantitativno i kvalitativno usklađivanje ljudskih resursa uz minimalne troškove, a razvit će se i testirati temeljem dolje navedenih podataka.

Željezničko infrastrukturno poduzeće u 2024. godini zapošljava 5 080 radnika. Planirano stanje broja zaposlenika za kraj narednog planskog razdoblja (2025.-2029.) iznosi 4 620. Pored otpuštanja viška zaposlenika željezničko infrastrukturno poduzeće istodobno želi reorganizirati kvalifikacijsku strukturu i to na način da se osigura prijelaz na višu razine kvalifikacijske strukture. Postojeća kvalifikacijska struktura sastoji se od zaposlenika sa visokom stručnom spremom (1 200), srednjom stručnom spremom (3 080) i zaposlenika sa stručnom spremom nižom od srednje stručne spreme (800). Zadaća odjela za ljudske resurse jest provesti potrebnu reorganizaciju uz minimalne troš-

kove. Sindikati su sa Upravom poduzeća postigli dogovor da se zaposlenicima kojima se otkaže ugovor o radu isplati otpremnina u iznosu od 30 000 € ako imaju visoku stručnu spremu, odnosno 20 000 € ostalim zaposlenicima. Odjel za ljudske resurse troškove zapošljavanja novih zaposlenika procjenjuje na 1 250 € za kandidate sa visokom stručnom spremom, 750 € za kandidate sa srednjom stručnom spremom i 100 € za kandidate sa nižom stručnom spremom. Stanje na tržištu rada je takvo da je u prosjeku godišnje moguće pronaći 30 kandidata sa visokom stručnom spremom, 55 kandidata sa srednjom stručnom spremom i 70 kandidata sa nižom stručnom spremom. Trošak stjecanja više stručne spreme za poduzeće procijenjen je na sljedeći način: niža stručna sprema u srednja stručna sprema 1 400 €, srednja stručna sprema u viša stručna sprema 5 000 € po osobi. Kako je zamijećena visoka starosna dob zaposlenika, odnosno nedostatak mladog kadra odlučeno je da se u promatranom razdoblju primi 50 pripravnika srednje stručne spreme, to: 10 odmah tijekom 2025. godine, dodatnih 15 do 2027. godine i dodatnih 20 do kraja 2029. godine.

5. SWOT ANALIZA LJUDSKIH RESURSA HŽ INFRASTRUKTURE

SWOT analiza temelji se na pretpostavci da će analiza i identificiranje snaga, slabosti, prijetnji i prilika iz okoline biti korisna strategija za ostvarivanje organizacijskih ciljeva [4]. Radi se o analizi mikro okruženja organizacije. SWOT analiza u području ljudskih resursa koristi se kako bi se identificirale prednosti i slabosti unutar organizacije (unutar-nji čimbenici), kao i prilike i prijetnje iz okoline (vanjski čimbenici). Ovakva analiza pomaže menadžerima ljudskih resursa da razviju strategije za poboljšanje učinkovitosti zaposlenika, privlačenje i zadržavanje talenata te prilagodbu promjenama na tržištu rada. Rezultati analize prikazani su tablicom 1.

Tablica 1. SWOT analiza ljudskih resursa HŽI (Izvor: Izradili autori)

SNAGE Iskusan kadar i stručnost u tehničkim sektorima. Stabilnost zaposlenja i redovna primanja. Interna operativna i tacitna znanja. Aktivni atraktivni infrastrukturni projekti (modernizacija).	SLABOSTI Starenje radne snage i manjak prijenosa znanja. Nedostatak stručnog kadra i niska atraktivnost. Zastarjeli sustavi obuke i obrazovanja. Nema strateškog HR planiranja (sukcesija, talenti). Niska motivacija, ograničeno napredovanje.
PRILIKE EU fondovi i Nacionalni plan oporavka i otpornosti za edukaciju i digitalizaciju. Suradnja s obrazovnim institucijama. Automatizacija i digitalna transformacija. Razvoj centara kompetencija za nova zanimanja. Ulaganja u održivi promet i nova zapošljavanja.	PRIJETNJE Masovni odlasci u mirovinu bez zamjene. Odljev mladih stručnjaka u inozemstvo/privatni sektor. Administrativna rigidnost javnog sektora. Negativna percepcija željezničkog sektora. Nedovoljna spremnost za promjene

6. RAČUNALNO PODRŽANI MODEL U FUNKCIJI UPRAVLJANJA LJUDSKIM RESURSIMA U ŽELJEZNIČKOM INFRASTRUKTURNOM PODUZEĆU

U proračunskoj tablici MS Excel postavljen je model za optimalnu kvantitativnu i kvalitativnu

reorganizaciju ljudskih resursa u željezničkom infrastrukturnom poduzeću (slika 1). Model se sastoji od četiri međusobno povezana dijela. Prvi dio sadržava informacije koje se odnose na troškove otpuštanja zaposlenika (otpremnine) – B9:B11, ponudu željezničkih stručnjaka na tržištu rada –

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
6									
7	Informacije o zaposlenicima								
8		Trošak otpuštanja	Dostupno godišnje za zapošljavanje	Trošak zapošljavanja	Dodatna obuka zaposlenika				
9	Visoka škola	\$30.000	30	\$1.250	Manje od srednje škole -> srednja škola				
10	Srednja škola	\$20.000	55	\$750	Srednja škola -> Visoka škola				
11	Manje od srednje škole	\$20.000	70	\$100					
12									
13	Procijenjeni broj potrebnih zaposlenika								
14		Trenutno	Godina 2025	Godina 2027	Godina 2029				
15	Visoka škola	1200	1210	1215	1220				
16	Srednja škola	3080	3030	2950	2900				
17	Manje od srednje škole	800	750	600	500				
18	Broj zaposlenih	5080			4620				
19	Broj obučanih, novozaposlenih ili otpuštenih zaposlenika								
20		Broj obučanih zaposlenika							
21		Godina 2025	Godina 2027	Godina 2029	Trošak				
22	Manje od srednje škole -> srednja škola	0	0	0	50				
23	Srednja škola -> Visoka škola	0	0	0	50				
24		Broj novozaposlenih							
25		Godina 2025	Godina 2027	Godina 2029	Trošak				
26	Visoka škola	0	0	0	50				
27	Srednja škola	0	0	0	50				
28	Manje od srednje škole	0	0	0	50				
29		Broj otpuštenih zaposlenika							
30		Godina 2025	Godina 2027	Godina 2029	Trošak				
31	Visoka škola	0	0	0	50				
32	Srednja škola	0	0	0	50				
33	Manje od srednje škole	0	0	0	50				
34									
35		Ukupan broj otpuštenih zaposlenika				0			
36									
37									
38		Broj zaposlenih							
39		Godina 2025	Godina 2027	Godina 2029					
40	Visoka škola	0	0	0					
41	Srednja škola	0	0	0					
42	Manje od srednje škole	0	0	0					
43		Ukupni troškovi reorganizacije				50			

Slika 3. Model optimalne kvantitativne i kvalitativne reorganizacije ljudskih resursa u željezničkom infrastrukturnom poduzeću

C9:C11, troškovi zapošljavanja D9:D11 i troškove dodatnog obrazovanja po zaposlenom radniku. Drugi dio sadržava informacije o broju trenutno zaposlenih po kvalifikacijskoj strukturi te poželjnu dinamiku strukture zaposlenih u planskom razdoblju. Treći se dio odnosi na varijable odlučivanja i to: broj osoba koje će se uputiti na dodatno obrazovanje, broj pripravnika koji treba zaposliti te broj osoba kojima će se otkazati ugovor o radu. Četvrti dio sadrži broj zaposlenih po kvalifikacijskoj strukturi u planskom razdoblju te ukupne troškove reorganizacije ljudskih resursa.

Nakon što je ovako formiran model nužno je unijeti formule u odgovarajuća adresna polja. U adresno polje F22 unosi se formula $=H9*SUM(C22:E22)$, koja se potom kopira u adresno polje F23. Na ovaj način se izračunavaju troškovi upućivanja zaposlenika na dodatno obrazovanje. U adresno polje F26 unosi se formula $=D9*SUM(C26:E26)$ koja se potom kopira u adresni niz F27:F28. Tako se izračunavaju troškovi zapošljavanja novih djelatnika. U adresno polje F31 unosi se formula $=B9*SUM(C31:E31)$ koje se potom kopira u adresni niz F32:F33 te se na taj način izračunavaju troškovi otpuštanja zaposlenika. Ukupan broj zaposlenika koji treba otpustiti izračunava se u adresnom polju E35 gdje je zalijepljena formula $=SUM(C31:E33)$. Dinamika kvalifikacijske strukture broja zaposlenih u promatranom razdoblju prikazana je u adresnom području C40:E42. U adresno polje C40 upisana je formula $=B15+C23+C26-C31$ koja je potom kopirana u adresni niz C41:C42. U adresno polje D40 upisana je formula $=C40+D23+D26-D31$ koja je potom kopirana u adresni niz D41:D42 i u adresno polje E40 upisana je formula $=D40+E23+E26-E31$ koja je kopirana u adresni niz E41:E42. Ukupni troškovi reorganizacije ljudskih resursa u željezničkom infrastrukturnom poduzeću izračunati su u adresnom polju F43 pomoću formule $=SUM(F31:F33;F26:F28;F22:F23)$. Adresno polje F43 označava funkciju cilja, a to je da ukupni troškovi budu minimalni. Ukupni troškovi

zbroj su troškova upućivanja zaposlenika na dodatno obrazovanje, troškova zapošljavanja novih djelatnika i troškova otkazivanja ugovora o radu.

U izborniku Tools poziva se program Solver i pristupa se unosu podataka u kartici Solver Parameters.

Postavljanje cilja: Min F43

Varijable: C22:E23;C26:E28;C31:E33

Ograničenja:

$C22 \leq B17$

$C23 \leq B16$

$C26 : C28 \leq C9 : C11$

$C31 : C33 \leq B15 : B17$

$C40 : E42 = C15 : E17$

$D22 \leq C41$

$D23 \leq C42$

$D26 : D28 \leq C9 : C11$

$D31 : D33 \leq C40 : C42$

$E22 \leq D41$

$E23 \leq D42$

$E26 : E28 \leq C9 : C11$

$E31 : E33 \leq D40 : D42$

Kada su unijeti svi parametri, klikne se na gumb Solve obrasca Solver Parameters, čime se aktivira program Solver, koji izračunava vrijednosti varijabli odlučivanja. Varijable odlučivanja definiraju optimalno rješenje. Slikom 4 prikazano je optimalno rješenje problema uporabom programa MS Excel.

DatotekaPolaznoUmetanjeRaspored straniceFormulePodaciPregledPrikazDodaciPomoćW

F43

✕

✓

f_x

=SUM(F31:F33;F26:F28;F22:F23)

	A	B	C	D	E	F	G	H
6								
7	Informacije o zaposlenicima							
8		Trošak otpuštanja	Dostupno godišnje za zapošljavanje	Trošak zapošljavanja	Dodatna obuka zaposlenika			Trošak
9	Visoka škola	\$30.000	30	\$1.250	Manje od srednje škole -> srednja škola			\$1.400
10	Srednja škola	\$20.000	55	\$750	Srednja škola-> Visoka škola			\$5.000
11	Manje od srednje škole	\$20.000	70	\$100				
12								
13	Procijenjeni broj potrebnih zaposlenika.							
14		Trenutno	Godina 2025	Godina 2027	Godina 2029			
15	Visoka škola	1200	1210	1215	1220			
16	Srednja škola	3080	3030	2950	2900			
17	Manje od srednje škole	800	750	600	500			
18	Broj zaposlenih	5080			4620			
19	Broj obučanih, novozaposlenih ili otpuštenih zaposlenika.							
20		Broj obučanih zaposlenika						
21		Godina 2025	Godina 2027	Godina 2029	Trošak			
22	Manje od srednje škole -> srednja škola	0	0	0	\$0			
23	Srednja škola-> Visoka škola	10	5	5	\$100.000			
24		Broj novozaposlenih						
25		Godina 2025	Godina 2027	Godina 2029	Trošak			
26	Visoka škola	0	0	0	\$0			
27	Srednja škola	10	15	20	\$33.750			
28	Manje od srednje škole	0	0	0	\$0			
29		Broj otpuštenih zaposlenika						
30		Godina 2025	Godina 2027	Godina 2029	Trošak			
31	Visoka škola	0	0	0	\$0			
32	Srednja škola	50	90	65	\$4.100.000			
33	Manje od srednje škole	50	150	100	\$6.000.000			
34								
35		Ukupan broj otpuštenih zaposlenika			505			
36								
37								
38		Broj zaposlenih						
39		Godina 2025	Godina 2027	Godina 2029				
40	Visoka škola	1210	1215	1220				
41	Srednja škola	3030	2950	2900				
42	Manje od srednje škole	750	600	500				
43		Ukupni troškovi reorganizacije				\$10.233.750		

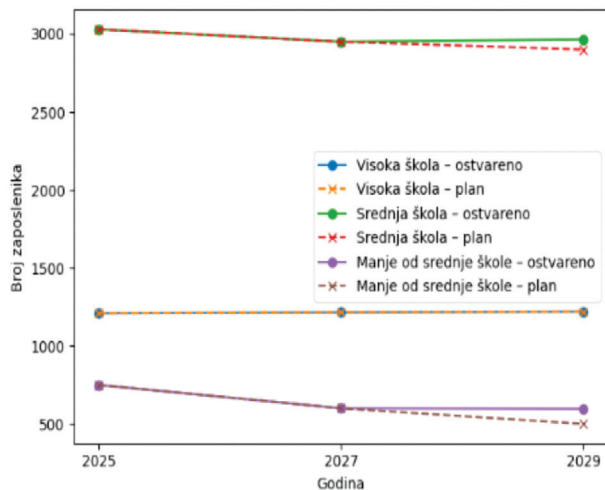
Slika 4. Optimalno rješenje

Temeljem podataka sa slike 4 razvidno je da su zadovoljena sva postavljena ograničenja te da je ostvarena planirana struktura ljudskih resursa. Po optimalnom rješenju bit će potrebno dodatno educirati 20 ljudi. Na dodatno obrazovanje uputit će se samo zaposlenici sa srednjom stručnom spremom. Njihovo dodatno obrazovanje koštat će 100 000 €. U promatranom razdoblju zaposlit će se 45 pripravnika uz trošak od 33 750 €. Ukupno će se otpustiti 505 zaposlenika i to 205 zaposlenika sa srednjom stručnom spremom i 300 zaposlenika sa nižom od srednje stručne spreme. Trošak otpuštanja iznosi 10 100 000 €. Ukupni minimalni troškovi restrukturiranja ljudskih resursa iznose 10 233 750 €. Dobiveno optimalno rješenje bolje je za 3,22 puta od

iskustveno najnepovoljnijeg rješenja koje se dobije kada se funkcija riješi po maksimumu.

Postavljeni model omogućuje razne simulacije. Tako se primjerice u gotovo uvijek ograničenim financijskim uvjetima mogu simulirati rezultati takvih ograničenja. Primjerice ako bi željezničko infrastruktorno poduzeće za restrukturiranje raspolagalo sa sedam milijuna eura postavlja se pitanje da li bi se potrebno restrukturiranje moglo provesti. Odgovor je niječan. U tom slučaju 20 zaposlenika sa srednjom stručnom spremom uputila bi se na stjecanje visokog obrazovanja, zaposlila bi se 45 pripravnika, dok bi se otpustila 343 zaposlenika i to njih 140 sa srednjom stručnom spremom i 203 sa nižom od srednje stručne

spreme. Usporedba planirane i postignute kvalifikacijske strukture zaposlenika pri proračunskom ograničenju od 7 milijuna eura dana je slikom 5.



Slika 5. Usporedba planirane i postignute kvalifikacijske strukture zaposlenika pri proračunskom ograničenju (Izvor: autori)

Temeljem slike 5 razvidno je da bi u uvjetima proračunskog ograničenja od sedam milijuna eura ostao višak zaposlenih sa srednjom stručnom spremom od 65 zaposlenika i višak zaposlenih sa nižom od srednje stručne sprema od 97 zaposlenika. Sa slike 5 vidljivo je da bi se tražena reorganizacija ispunjavala planski do 2027. godine, a da bi potom zbog nedostatka financijskih sredstava došlo do odstupanja od plana. Model omogućuje i druge brojne simulacije. Tako ako se primjerice iz modela ukloni ograničenje obveze zapošljavanja pripravnika tada bi trebalo otpustiti 460 zaposlenika uz ukupne troškove od 9,3 mil. €. Moguće je potražiti i optimalno rješenje tako da se za ograničenje postavi maksimalni broj zaposlenika koji se može otpustiti i sl.

7. ZAKLJUČAK

Optimizacija ljudskih resursa u željezničkom sektoru, osobito u okviru složenih i reguliranih sustava poput HŽ Infrastrukture, zahtijeva sustavan, strateški i informacijski potkrijepljen pristup. Analiza pokazuje da prelazak s tradicionalnog kvantitativnog modela zapošljavanja na kvalitativni pristup koji valorizira znanja, vještine i prilagodljivost zaposlenika predstavlja nužnost za suvre-

meno poslovanje. SWOT analiza ljudskih resursa u HŽI-ju ukazuje na ključne izazove poput nepovoljnih dobnih struktura i nedostatka stručnog kadra, ali i na prilike koje leže u digitalizaciji i strateškom planiranju. Predloženi računalno podržani model optimizacije nudi menadžmentu alat za donošenje boljih odluka i učinkovitije upravljanje resursima, uz mogućnost prilagodbe promjenjivim uvjetima na tržištu i unutar sustava. Provedba takvih rješenja može pridonijeti većoj učinkovitosti, fleksibilnosti i dugoročnoj održivosti HŽ Infrastrukture, ali i šireg željezničkog sustava u cjelini.

8. LITERATURA

- [1] Azizi, M., Zarei, M., & Hasanzadeh, M.: Exploring the factors affecting sustainable human resource productivity in railway lines. *Journal of Transportation and Logistics*, 16(3), 45–60, (2021). <https://doi.org/10.3390/su14010225>.
- [2] Bulla, D. N., & Scott, P. M.: Manpower requirements forecasting: A case example. *Public Personnel Management*, 23(3), 393–414, (1994).
- [3] Cayrat, B., Boxall, P.: The roles of the HR function: A systematic review of tensions, continuity and change, *Human Resource Management Review*, 33(4), (2023). DOI:10.1016/j.hrmr.2023.100984.
- [4] Certo, C.S., Certo, S.T.: Moderni menadžment, 10. izdanje, Mate d.o.o., Zagreb, (2008).
- [5] Daneci-Patrau, D., & Patache, L.: The role of human resources in the performance of railway transport. *International Journal of Academic Research in Economics and Management Sciences*, 1(2), 87–94, (2011).
- [6] Daneci-Patrau, D., Patache, L.: Efficiency Of Human Resources Management In Railway Transport, *Journal of Academic Research in Economics*, Spiru Haret University, Faculty of Accounting and Financial Management Constanta, vol. 3(3), pp. 258-270. (2011).
- [7] Desler, G.: Upravljanje ljudskim potencijalima, dvanaesto izdanje, Mate, do.o., Zagreb, (2011).
- [8] Heizer, J., & Render, B.: Operations management. (10th edition), New York, NY: Pearson, (2011).

- [9] HŽI Statistical Reports, different years.
- [10] HŽI: Annual Safety Report, (2023).
- [11] HŽI: The 2025 Business Plan, February 2025.
- [12] Infrastructure Union of Croatian Railways: Prijedlog pravilnika o organizaciji i sistematizacija HŽI, (2025).
- [13] Ivancevich J-M., Glueck, W.F.: Foundations of Pe-Tconnel/ Human Resource Management, Business Publication Texas, (1986).
- [14] Křižan, L., Vojtek, M., Široký, J., Gašparík, J., & Dedík, M. (2024). Human Resource Efficiency in Sustainable Railway Transport Operation. *Sustainability*, 16(22), 10095. (2024). <https://doi.org/10.3390/su162210095>.
- [15] Martin, M., Whiting, F.: Human Resource Practice, CIPD, London, UK, (2016).
- [16] Mitchell, B., Gamlem, C.: The Big Book of HR, Career Press, NJ, USA, (2017).
- [17] Mondy, W., Noe, R.: Human Resource Management, sixth edition, Prentice Hall, Inc., NJ, USA, (1996).r
- [18] Pereira, V., Fontinha, R.: Strategic HRM and performance: Insights from the Indian Railways. *Journal of Organizational Change Management*, 31(6), 1281–1295, (2018). doi: 10.1108/JOCM-04-2017-0157
- [19] Pupavac, D., Zelenika, R.: Upravljanje ljudskim potencijalima u prometu, Veleučilište u Rijeci, Rijeka, (2004).
- [20] Pupavac, D.: Načela ekonomike prometa, Veleučilište u Rijeci, Rijeka, (2009).
- [21] Reilly, P.: Guide to workforce planning in the public sector. Institute for Employment Studies, (2003).
- [22] Singh, R., & Singh, P.: HR transformation in state-owned railways: A case of Indian Railways. *International Journal of Human Resource Studies*, 15(1), 22–41, (2025). <https://doi.org/10.33545/26633213.2025.v7.i1f.326>.
- [23] Ulrich, D., Brockbank, W., Johnson, D., Sandholtz, K., & Younger, J.: HR competencies: Mastery at the intersection of people and business. Society for Human Resource Management, (2008). DOI:10.1177/0974173920100422.

DRAGAN ĐORĐEVIĆ*, NIKOLA RISTIĆ,
ANA VULEVIĆ, JASMINA STANIŠIĆ

ANALIZA USLUGA ŽELEZNIČKOG SAOBRAĆAJA I PRISTUPAČNOSTI SA ASPEKTA OSOBA SA INVALIDITETOM: ŽELEZNIČKA MREŽA SRBIJE

ANALYSIS OF RAIL TRANSPORTATION SERVICES AND A CCESSIBILITY FROM THE ASPECT OF PERSONS WITH DISABILITIES: SERBIAN RAILWAY NETWORK

UDK: 656.2 + 654.9 + 625.1/.5

REZIME:

Ova studija predstavlja nastavak praćenja podrške koja se pruža osobama sa invaliditetom koje koriste železnički prevoz radi poboljšanja kvaliteta usluga i pristupačnosti u Republici Srbiji do 2025. godine. Za prikupljanje mišljenja korisnika korišćen je upitnik koji se odnosi na usluge i pristupačnost u putničkom železničkom prevozu. Ovaj pristup smatra se efikasnim za dobijanje povratnih informacija od putnika o različitim aspektima putovanja vozom i korišćenja železničkih stanica. Cilj upitnika je da se obezbedi kontinuirano praćenje u skladu sa Evrobarometrom (eng. Eurobarometer), standardom EN13816 i najboljim praksama. Prezentovanje ovih podataka železničkim operaterima je od velikog značaja, posebno zato što ti operateri trenutno ne sprovode takva specifična istraživanja. Pored toga, svi rezultati predstavljeni u ovom radu smatraju se veoma važnim kao osnova za identifikovanje nedostataka, što će pomoći donosiocima odluka da smanje probleme vezane za korišćenje železnice osobama sa invaliditetom.

Ključne reči: željeznički promet, ljudski resursi, HŽ Infrastruktura, optimizacija.

SUMMARY:

This study represents a continuation of monitoring the support provided to persons with disabilities using railway transport to improve service quality and accessibility in the Republic of Serbia by 2025. A questionnaire related to services and accessibility in passenger rail transport was used to gather the user opinions. This approach is considered effective for obtaining feedback from passengers on various aspects of train travel and the use of railway stations. The goal of the questionnaire is to ensure continuous monitoring in line with Eurobarometer, the EN13816 standard, and best practices. Presenting this data to railway operators is of great importance, especially since these operators do not currently conduct such specific surveys. Additionally, all the results presented in this paper are considered highly important as a basis for identifying gaps, which will help decision-makers reduce problems related to the use of railways.

Keywords: railway transport, human resources, HŽ Infrastruktura, optimization.

*Dragan Đorđević, Egis, Resavska 31, 11000 Beograd, Srbija, dragan.djordjevic@egis-group.com

1. UVOD

Posmatranje i reakcija korisnika na korišćenje usluge smatra se jednim od osnovnih podataka koje je potrebno prikupiti.

Efikasnost sistema može se pratiti i ispitivanjem pružene usluge, bez obzira na vrstu usluge. Pronalaženje novih korisnika za pružanje usluga, prilagođavanje i razumevanje potreba smatra se veoma važnim.

Osobe sa ograničenom pokretljivošću ili invaliditetom mogu se smatrati posebnom grupom korisnika javnog prevoza. Prepoznajući ovaj deo stanovništva kao grupu koja je generalno u manje povoljnom položaju i, u mnogim slučajevima, diskriminisana, preduzimaju se određeni koraci kako bi se minimizirao uticaj spoljašnjeg pristupa i pruženih usluga.

Ovakva vrsta podataka može pomoći pružaocu usluga da poboljša svoje usluge ili pronađe svoje slabe tačke i pruži kontinuiranu podršku za bolje razumevanje problema sa kojima se suočavaju osobe sa invaliditetom u železničkom saobraćaju.

2. PREGLED LITERATURE

Različiti pristupi mogu se primeniti za bolji kvalitet usluge. U analizi TV korisnika, posebno u izboru broja kanala, različitih platformi i cene, sprovedena je sveobuhvatna analiza izbora i pružene usluge korišćenja sistema [8]. Stoga se može reći da upotreba pristupa posmatranja kvaliteta koji pružaju korisnici nije ograničena i smatra se veoma povoljnom.

Kao osnova za posmatranje društvene mobilnosti kao jedinice mere, funkcionisanje transporta osnova je za povećanje društvenih aktivnosti na globalnom nivou, kao i za određene grupe i pojedince. Ova posmatranja mogu se sprovoditi na opštoj osnovi koja, takođe, uključuje globalni pristup za ceo javni prevoz [4]. Korelacija varijabli posmatrana je uzimajući zadovoljstvo korisnika kao osnovu u širem području rute Obala - Akra, Gana.

Pored toga, oko Kejp Kousta, Gana, sprovedeno je pojedinačno posmatranje pružanja određene taksi usluge, sprovedena je analiza nekoliko varijabli i sprovedeno je otkrivanje zadovoljstva korisnika [5].

Opšti pristup za posmatranje kvaliteta pružene usluge primenjen je i u analizi transporta. U studiji sprovedenoj na sistemu autobusnog prevoza u Bogor, Indonezija, u kontekstu gradskog javnog prevoza, naglasak je bio na analizi odnosa između performansi prevoza, kvaliteta usluge, zadovoljstva kupaca i namere ponovne upotrebe [16].

U radu [6], posmatran je odnos između kvaliteta usluge i zadovoljstva korisnika javnog prevoza u Vankuver Donjem Gradu (Vancouver Lower Mainland) u provinciji Britanska Kolumbija, Kanada. Procena je sprovedena na osnovu materijalnih i nematerijalnih faktora za korisnike prevoza kako bi se procenio kvalitet usluge sistema i zadovoljstvo korisnika prilikom korišćenja autobusa.

Kao sastavni deo analiza kvaliteta i pristupačnosti, sprovodi se redovno i u železničkom prevozu. Ove analize se mogu sprovesti za klasično posmatranje opšte usluge i pristupačnosti ili za određena specifična područja.

Indijske železnice imaju dobru ideju o poboljšanju kvaliteta svojih usluga. U studiji [9] pokušano je da se identifikuje jaz koji postoji u nivou usluge, a posmatrani su samo interni aspekti kao što su objekti (atributi) koji čine putovanje udobnim.

Posebna studija slučaja [3] identifikuje komponente kvaliteta usluge Indijskih železnica na železničkim peronima kako bi se utvrdili najvažniji faktori za pružanje kvalitetne usluge.

Sveobuhvatni psihološki model [15] korišćen je za integraciju metodologije i modela za razumevanje i analizu namera putovanja putnika kroz teoriju zadovoljstva korisnika. Pokušali su da bolje razumeju psihološke faktore koji oblikuju odluke putnika i da u skladu sa tim poboljšaju pružanje usluga.

Da bi se analizirao status kvaliteta usluge i zadovoljstvo putnika uslugama lakog železničkog prevoza u Adis Abebi, posmatrana su očekivanja putnika u vezi sa kvalitetom usluge i percepcija usluge koju pruža AA-LRT [10]. Anketa je zaključila da postoji potreba za poboljšanjem kvaliteta usluga u svim dimenzijama, uključujući potrebe osoba sa invaliditetom.

Prilikom ispitivanja unapređenja pristupačnosti u okviru urbanog planiranja, Tajland je uložio resurse u razvoj železničkih inicijativa i usavršavanje standarda projektovanja transportne infrastrukture kako bi se zadovoljile potrebe različitih korisnika [7]. Ova strategija ima prednosti kada se uporede propisi i preporuke za železničke stanice i sadržaje napravljene za sve.

Poboljšanje pristupačnosti verovatno je jedan od primarnih faktora za efikasnost i održivost transportnog sistema. U tom smislu, primećene su i finansijske koristi za pružaoce usluga, jer je sprovedena evaluacija uspešnih praksi vezanih za pristup infrastrukturi, vozilima ili informacijama [2].

U dokumentu [14] koji se odnosi na novu železničku infrastrukturu u izgradnji u Južnom Sulavesiju, sprovedena je istraga kako bi se utvrdilo da li će žene i osobe sa invaliditetom imati smeštaj koji zadovoljava njihove potrebe i podstiče njihovo korišćenje javnog prevoza, kao i da bi se identifikovali problemi vezani za pristup stanicama.

Na koristan način, kako bi se svima olakšalo korišćenje železničkih stanica, izrađeni su dokumenti koji se odnose na usluge koje nude železničke kompanije u Velikoj Britaniji. [1]. Ovi pristupi bi mogli pomoći onima koji upravljaju putničkim vozovima i stanicama da olakšaju putovanje vozom osobama sa invaliditetom.

Na području Republike Srbije sprovedeno je istraživanje kako bi se utvrdilo koliko osobe sa invaliditetom koriste javni prevoz, posebno vozove [13]. Dokument ističe da je olakšavanje pristupa objektima proces koji treba ponavljati i pažljivo

pratiti kako bi se videlo koliko dobro funkcioniše i kako bi se osiguralo da ga svi razumeju. Da bi se sagledala situacija i koliko dobro stvari funkcionišu za osobe sa invaliditetom, korišćene su informacije iz studija [11] i [12]. Pristupačnost zgrada i usluga ispitana je iz perspektive korisnika invalidskih kolica i primećeno je da i dalje postoje neki problemi koji ostaju čak i nakon što su izvršena poboljšanja.

3. PODRUČJE I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

3.1. Metodologija

Redovna istraživanja o mobilnosti stanovništva koja se sprovode u Republici Srbiji ne odgovaraju adekvatno na potrebe za putovanjem osoba sa invaliditetom. Svi upitnici su dostavljeni udruženjima, koji su kasnije poslali putem e-pošte.

Zbog važnosti ovog istraživanja i uporedivosti dobijenih rezultata sa drugim evropskim zemljama, kao osnova za ovaj upitnik korišćena su prilagođena pitanja iz Evrobarometra, standarda SRPS EN 13816:2012 i pozitivnih praksi u ovoj oblasti.

U ovom istraživanju učestvovalo je 39 ispitanika iz populacije osoba sa invaliditetom, a podaci su prikupljeni putem ankete sprovedene od 8. marta do 30. juna 2025. godine.

Učesnici istraživanja imali su različite vrste invaliditeta. Upitnik je strukturiran kao kombinacija zatvorenog i otvorenog obrasca za odgovore, a individualna anketa sprovedena je putem veb ankete. Upitnik je bio podeljen na tri dela: Demografske karakteristike ispitanika, uključujući opštinu prebivališta, pol, starost i radni status (zaposlen, izdržavano lice, penzioner), Zadovoljstvo uslugama na stanicama, železničkim uslugama i pristupačnošću.

3.2. Područje istraživanja

Ispitano stanovništvo obuhvatalo je urbana i ruralna područja u Republici Srbiji.

4. REZULTATI

4.1. Sociodemografske karakteristike

Klasifikacija populacije osoba sa invaliditetom zasnovana je na prikupljenim bazama podataka - Ključni parametri sociodemografskih karakteristika: Pol (Muškarci: 16, Žene: 23), Starost (15-20: 1, 21-25: 3, 26-30: 3, 31-35: 10, 36-40: 2, 41-45: 5, 46-50: 3, 51-55: 2, 56+: 10), Pokretljivost (Samostalno hoda: 20, Hoda uz pomoć pomagala: 5, Koristi invalidska kolica, vozi samostalno: 11, Koristi invalidska kolica, vozi druga osoba: 3), Govor (Normalan: 22, Nije baš teško, razumljiv: 7, Nerazumljiv, pasivni govor: 1, Teško razumljiv: 6, Ne govori, ali komunicira: 2, Ne govori i ne komunicira: 1), Oštećena čula (Nema: 21, Vid: 1, Sluh: 13, Kombinovano: 4), Tip naselja (Selo: 1, Mali grad: 12, Veliki grad: 26), Nivo obrazovanja (Bez obrazovanja: 1, Osnovna škola: 3, Srednja škola: 14, Fakultet ili univerzitet (akademija): 21) Radni status (Izdržavano lice: 4, Zaposleni: 24, Penzioner: 11).

4.2. Broj korisnika železnice i razlozi koji sprečavaju putovanje vozom

Značajan broj osoba sa invaliditetom u ovom istraživanju je taj što 56% koristi, a 44% ne koristi železnicu.

Glavni razlozi koje su naveli ispitanici, a koji ne koriste železnicu, su kombinacija odgovora koji sadrže nedostatak informacija o pristupačnosti i opštim uslugama, nepristupačne puteve i trotoare i nedostatak specijalizovanog javnog prevoza koji vodi do stanice, nepristupačne stanice i nedostatak određenog osoblja i pomoći.

Neki specifični odgovori dobijeni u anketi su da

vozovi ne saobraćaju ili retko saobraćaju u blizini mesta stanovanja, da vozovi imaju dugo vreme putovanja, da nema informacija prilagođenih slepim i slabovidnim osobama i da je za neke ljude sama organizacija dolaska do stanice i korišćenja voza veoma komplikovana.

4.3. Osnovni podaci o korisnicima železnice

Za populaciju osoba sa invaliditetom, značajne informacije su: 63% je odgovorilo potvrdno da ne koristi pogodnosti, dolazak do stanice najčešći vid prevoza je korišćenje automobila/taksija 50%, vreme dolaska do stanice od kuće za 50% je između 10 i 20 minuta, razlog putovanja za 41% je odmor/rekreacija, a učestalost korišćenja voza za 45% je nekoliko puta godišnje.

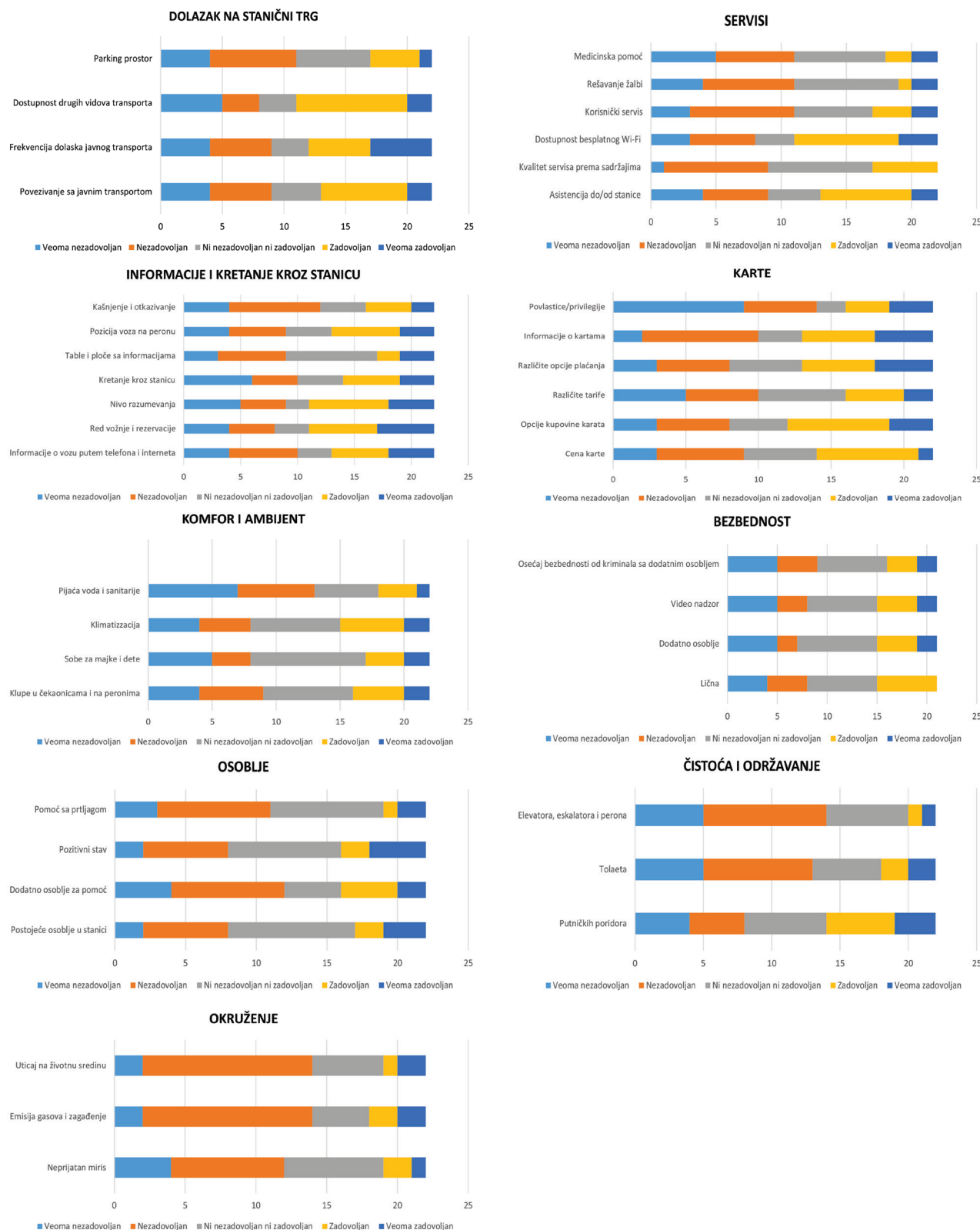
Najčešće korišćene železničke stanice: Prokop (glavna stanica u Beogradu) i Novi Sad na novoj rekonstruisanoj pruzi, Valjevo, Kruševac, Čačak, Kraljevo, Raška, Niš, Zaječar na ostatku mreže.

Dalja analiza je sprovedena samo sa odgovorima korisnika železnice.

4.4. Zadovoljstvo uslugama na stanicama i u vozovima

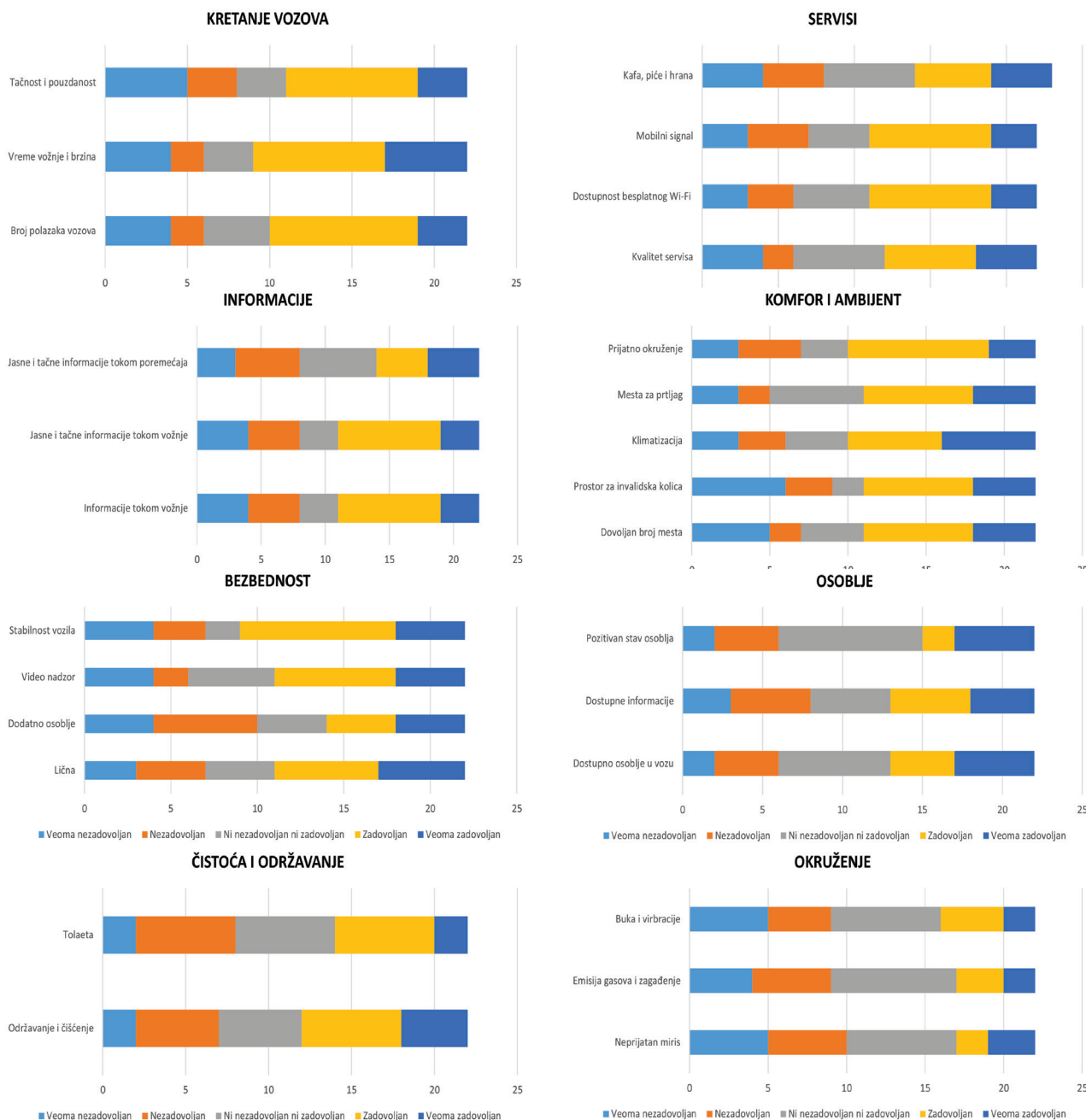
Usluga je dobila značajan odziv, pri čemu je 55% onih na stanicama nezadovoljno zagađenjem izduvnim gasovima, a 41% u vozovima je izjavilo da su zadovoljni, ali i nezadovoljni polascima vozova, vremenom putovanja i brzinom (ovi odgovori su više povezani sa rekonstruisanim i modernizovanim prugama), u okviru određenih grupa pitanja i posebne opreme. Slike (1. i 2.) prikazuju više informacija o pojedinačnim odgovorima za stanice i vozove odvojeno.

Stanica



Slika 1. Zadovoljstvo uslugom na stanici za predstanični trg, uslugu, informacije i kretanje kroz stanicu, karte, udobnost i ambijent, bezbednost, osoblje, čistoću i održavanje

Voz



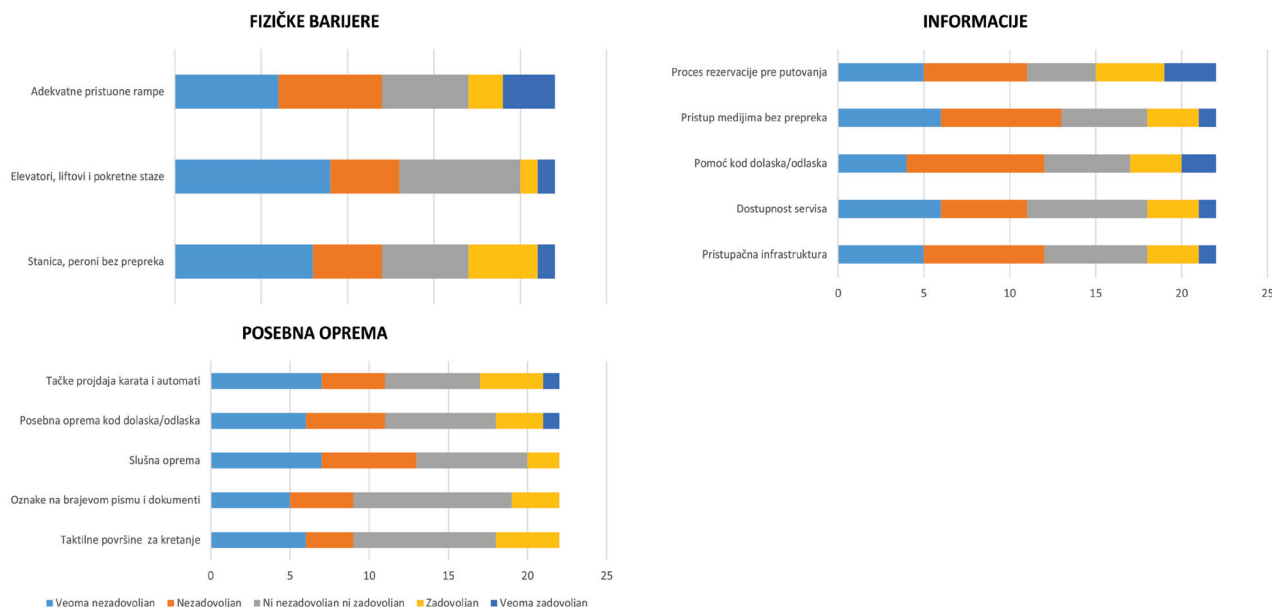
Slika 2. Zadovoljstvo uslugom u vozu za kretanje voza, Usluga, Informacije, Udobnost i ambijent, Bezbednost, Osoblje, Održavanje i čistoća i Životna sredina

4.5. Zadovoljstvo pristupačnošću na stanicama i u vozovima

Pristupačnost je dobila značajan odgovor, pri čemu je 45% onih na stanicama i 55% u vozovima

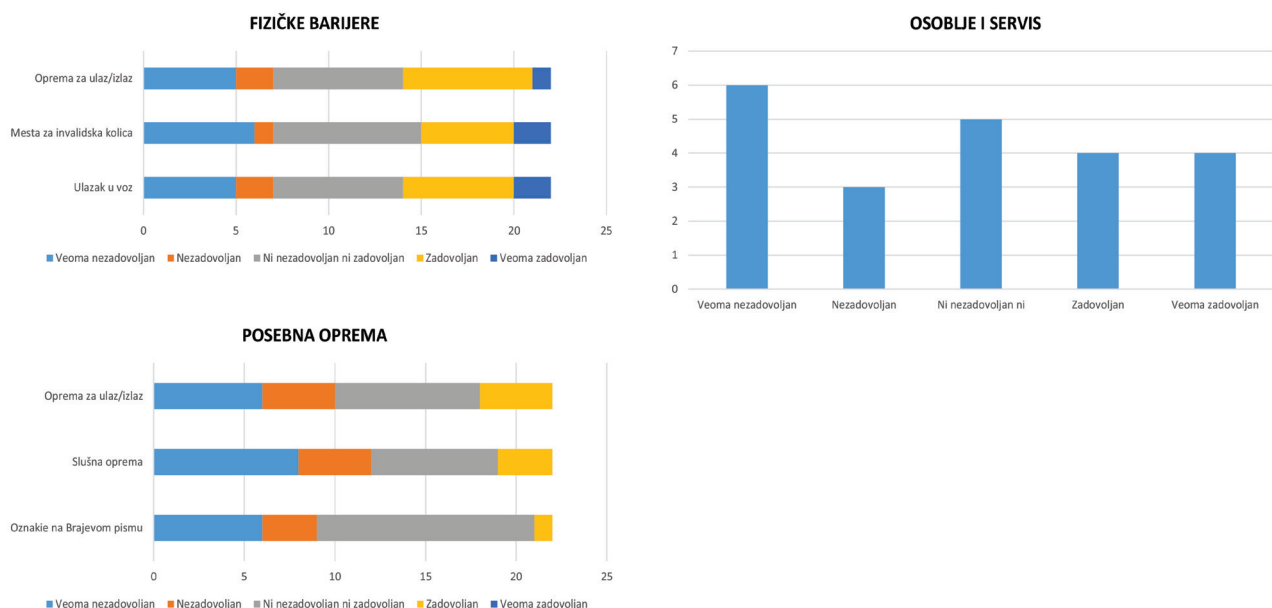
izjavilo da nisu ni zadovoljni ni nezadovoljni pristupačnošću Brajeve signalizacije, u okviru određenih grupa pitanja i posebne opreme. Slike (3. i 4.) prikazuju više informacija o pojedinačnim odgovorima za stanice i vozove odvojeno.

Stanica



Slika 3. Zadovoljstvo pristupačnošću na stanicama za fizičke barijere, osoblje i usluge i specijalnu opremu

Voz



Slika 4. Zadovoljstvo pristupačnošću vozova za fizičke barijere, osoblje i usluge i specijalnu opremu

5. ZAKLJUČAK

Generalno, u studiji [17] zadovoljstvo uslugom je preko 50%, za neke procese u vezi sa pristupačnošću je između 40 i 50%. U istoj studiji, samo za populaciju osoba sa invaliditetom, razlog za nepu-

tovanje vozom su teškoće u putovanju do stanice 16%, dok 12% pominje nepristupačnost stanica ili perona, a 10% pominje nedostatak informacija pre putovanja o stanicama i pristupačnim uslugama. Prema studiji [18], samo trećina putnika sa invaliditetom nema problema tokom putovanja,

dok dve trećine imaju. Problemi koji se javljaju tokom bilo koje od sledećih faza putovanja u vozu su manji od 25% (mada za deo populacije osoba sa invaliditetom mogu imati veće vrednosti). Populacija osoba sa invaliditetom u Srbiji je imala lošije rezultate u poređenju sa prethodnim studijama u odnosu na sprovedenu anketu.

Uprkos negativnom iskustvu, postoji i zadovoljstvo među ispitanicima koji vide Železnice Srbije kroz prodajno osoblje, kol centar i konduktere, a ovaj slučaj je uglavnom na rekonstruisanoj mreži. Osim dela mreže koji je rekonstruisan, za ljude koji ne koriste voz, ova vrsta upitnika se smatra veoma ambicioznom. Nedovoljna je pristupačnost i vozila i infrastrukture; korišćenje vozova je nepouzdanost, a nema dovoljno vozova, jer retko saobraćaju. Za određene vrste invaliditeta nije moguće utvrditi koje vrste putnih pogodnosti su dostupne. Problem pomeranja perona i održavanja liftova koji nisu uvek u funkciji je, na osnovu komentara, jedno od značajnijih pitanja, posebno za korisnike invalidskih kolica. Osobe sa oštećenim sluhom imaju značajne probleme u komunikaciji i ostvarivanju svojih prava tokom putovanja. Što se tiče slepih i slabovidnih osoba sa invaliditetom, pored rekonstruisane i novoizgrađene infrastrukture, taktilne staze na spratu su blokirane određenim preprekama. Planiranje putovanja pod ovim uslovima moglo bi biti veoma teško.

Praćenjem podataka putem anketa u poslednjih nekoliko godina, postignut je veliki napredak u poboljšanju položaja osoba sa invaliditetom u regulatornom okviru, ali ne i u potpunosti u implementaciji. I dalje se može reći da ove osobe „pate“ u određenoj meri od diskriminacije jer im nije obezbeđena puna mobilnost, koja može biti ograničena čak i uz pružene usluge i pristupačnost. Ograničenja ovog istraživanja takođe ističu problem angažovanja većeg broja ispitanika u udruženjima osoba sa invaliditetom, što, uprkos određenom broju odgovora, ne daje dovoljan uzorak. Pored identifikovanih problema, i dalje je potrebno sprovesti intenzivnu dodatnu edukaciju akademskih zajednica, inženjera koji planiraju, projektuju i izvode radove, kao i izvršnih organa vlasti, pružaoce saobraćajnih usluga i opšte populacije na duži rok. Važan sledeći korak je uspostavljanje redov-

nog anketiranja osoba sa invaliditetom i kreiranje sistema za žalbe radi poboljšanja pružene usluge.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je deo dugoročnog istraživanja autora u vezi sa osobama sa invaliditetom i železničkim saobraćajem. U ovom istraživanju želimo da izrazimo posebnu zahvalnost udruženjima osoba sa invaliditetom u Republici Srbiji i njihovim članovima, bez čije pomoći ne bi bilo moguće napisati ovaj rad.

LITERATURA

- [1] Department for Transport, Transport Scotland: Accessible train station design for disabled people: a code of practice. Transport Scotland (2011). <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1103362.pdf>
- [2] European Conference of Ministers of Transport: Improving transport accessibility for all: guide to good practice. ECM-T (2006). <https://www.itf-oecd.org/content/improving-transport-accessibility-all-guide-good-practice>
- [3] Geetika & Nandan, S.: Determinants of customer satisfaction on service quality: a study of railway platforms in India. Journal of Public Transportation 13(1), 1–16 (2010). DOI: <http://doi.org/10.5038/2375-0901.13.1.6>
- [4] Ojo, T. K., Mireku, D. O., Dauda, S. & Nutsogbodo, R. Y.: Service quality and customer satisfaction of public transport on Cape Coast–Accra route, Ghana. Developing Country Studies 4(18), 45–54 (2014). <https://iiste.org/Journals/index.php/DCS/article/view/15995/16168>
- [5] Horsu, E. N. & Yeboah, S. T.: Influence of service quality on customer satisfaction: a study of minicab taxi services in Cape Coast, Ghana. International Journal of Economics, Commerce and Management 3(5), 1–12 (2015). <https://ijecm.co.uk/wp-content/uploads/2015/05/3595.pdf>
- [6] Amponsah, C. T. & Adams, S.: Service quality and customer satisfaction in public transport operations. International Journal of Services and Operations Management 25(4), 531–

- 549 (2016). DOI: <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2016.080279>
- [7] Nawagawong, W. & Techapeeraparnich, W.: Providing facilities to improve accessibilities to railway station for all. In: MATEC Web of Conferences, 138, 07013 (EACEF 2017) (2017). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713807013>
- [8] Musonda, Z. A. & Phiri, W.: Service quality and customer satisfaction in the pay TV industry: a case study of Multichoice Zambia Limited. *International Journal of Commerce and Management Research* 4(6), 19–24 (2018). <https://dspace.unza.zm/server/api/core/bitstreams/9aac9083-aeaa-450d-a994-ee8a36595be2/content>
- [9] Ranjan, R. K., Thapar, N., Siddiqui, S. A. & Painoli, A. K.: Assessing the service quality attributes affecting the satisfaction of the Northern Railway passengers: an empirical study. *Journal of New Business Ventures* 1(1–2), 110–124 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1177/2632962X20961052>
- [10] Kumsa, B. B.: Service quality and passengers' satisfaction in the railway transportation service: a case of Addis Ababa Light Rail Transit (AA-LRT). *Journal of Marketing and Consumer Research* 74, 1–10 (2020). DOI: 0.7176/JMCR/74-01
- [11] Djordjevic, D. & Pajevic, M.: Overview of elements of accessibility on railway transport facilities after the performed works from aspects of persons in wheelchairs. In: 8th International Conference "Towards a Humane City", pp. 379–386. Novi Sad (2021). https://www.dropbox.com/scl/fi/m0mjotqls-0wpydksktqrn/Conference-proceedings-TAHC_2021.pdf?rlkey=vezon27husi5oxhf-plgsi1smw&e=1&dl=0
- [12] Đorđević, D., Ristić, N., Stanišić, J. & Vozar, B.: Analysis of rail transportation services from the aspect of persons with disabilities: section Belgrade–Novi Sad. In: *Proceedings of Railcon '24*, pp. 45–48 (2024). DOI: 10.5937/Railcon24047D
- [13] Đorđević, D. & Stojić, G.: Mobility patterns of people with disabilities in public transport: a case study in Serbia. *Journal of Urban Development and Management* 2(1), 47–56 (2023). DOI: <https://doi.org/10.56578/judm020105>
- [14] Matthewson, G., Kalms, N., Natalia, V. V. & Patandianan, M. V.: Inclusive transport for all: addressing the needs of women and people with disabilities in South Sulawesi's railway stations. *The Australia-Indonesia Centre Report* (2023). https://pair.australiaindonesiacentre.org/wp-content/uploads/2025/01/PAIR_ENG_Inclusive-transport-for-all.pdf
- [15] Wang, Y., Fan, Z. & Wang, Q.: Examining urban rail transit choice intention: an integration of Value-Belief-Norm and customer satisfaction theories. *SAGE Open* 15(2) (2025). <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/21582440251346580>
- [16] Anjani, G. I., Nurhayati, P. & Yuliati, L. N.: The impact of service quality and customer satisfaction on reuse intention in urban public transportation. *Indonesian Journal of Business and Entrepreneurship* 11(1), 212–223 (2025). DOI: <https://doi.org/10.17358/ijbe.11.1.212>
- [17] European Commission: Directorate-General for Mobility and Transport, Europeans' satisfaction with passenger rail services, European Commission, 2018, <https://data.europa.eu/doi/10.2832/104451>
- [18] Disabled rail passengers research: prepared for Transport Focus and the Department for Transport, Illuminas, Enlighten. Empower. <https://d3cez36w5wymxj.cloudfront.net/wp-content/uploads/2019/07/10155559/Disabled-rail-passengers-research.pdf>

PREGLEDNI RAD

ZDENKA POPOVIĆ*, LUKA LAZAREVIĆ,
MILICA MIĆIĆ, LJILJANA BRAJOVIĆ

RCF NEPRAVILNOSTI NA GLAVI ŠINE – SMERNICE ZA ODRŽAVANJE

RCF IRREGULARITIES ON THE RAIL HEAD – GUIDELINES FOR MAINTENANCE

UDK: 625 + 625.1/.5 + 656.2

REZIME:

Fokus rada je na definisanju jasnih smernica za identifikaciju, praćenje i upravljanje ovim fenomenima sa ciljem produženja životnog veka železničke infrastrukture i voznog parka, uz istovremeno poboljšanje ukupne efikasnosti sistema održavanja. Upravljanje defektima šina smatra se sastavnim delom sistema održavanja i gornjeg i donjeg stroja pruge. Za inspekciju šina preporučuju se savremene metode nedestruktivnog ispitivanja, uključujući ultrazvučno ispitivanje i tehnike vrtložnih struja, koje omogućavaju otkrivanje unutrašnjih i površinskih nedostataka bez oštećenja materijala. Kontrola razvoja defekata podrazumeva upotrebu brušenja, reprofilsanjanja glave šine, podmazivanje na deonicama u krivinama i blagovremenu zamenu šina u slučajevima kada rizik od loma postane kritičan. Posebna pažnja posvećena je opasnim kombinacijama nekoliko defekata usled zamora, koji mogu značajno povećati rizik od iznenadnog loma. Rad doprinosi unapređenju strategije predviđanja i preventivnog održavanja savremenih železničkih sistema.

Ključne reči: železnica, šine, zamor čelika šine, defekti šina, održavanje.

SUMMARY:

The focus of the paper is on defining clear guidelines for the identification, monitoring, and management of these phenomena with the goal of extending the service life of both railway infrastructure and rolling stock, while also improving the overall efficiency of the maintenance system. The management of rail defects is approached as an integral part of both track superstructure and substructure maintenance systems. Modern non-destructive testing methods are recommended for rail inspection, including ultrasonic and eddy current techniques, which allow for the detection of internal and surface flaws without damaging the material. Control of defect development involves the use of grinding, rail head reprofiling, lubrication on curved track sections, and timely rail replacement in cases where the risk of fracture becomes critical. Special attention is given to dangerous combinations of multiple fatigue-related defects, which can significantly increase the risk of sudden failure. The paper contributes to the advancement of predictive and preventive maintenance strategies in modern railway systems.

Keywords: Railway, Rails, Rail Steel Fatigue, Rail Defects, Maintenance.

*Zdenka Popović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Srbija, zdenka@grf.bg.ac.rs,

1. UVOD

Nepravilnosti kratkih talasnih dužina ($0 < \lambda \leq 1$ m) na površi glave šine u zoni kontakta točka i šine imaju značajan uticaj na smanjenje veka trajanja šine u koloseku. Upravljanje njihovim razvojem ostaje otvoreno pitanje, jer još uvek ne postoji jedinstvena strategija održavanja koju bi sproveli Upravljači infrastrukture (UI) na međunarodnom nivou. Preporuke Međunarodne železničke unije (UIC) [1] i evropski standardi [2,3] pružaju samo osnovne smernice za upravljanje razvojem površinskih nepravilnosti na glavama šina.

Autori ističu nedostatak dosledne terminologije u tehničkim propisima koji se odnose na defekte šina izazvane zamorom od kotrljanja (RCF) u zoni kontakta točka i šine. Ova nedoslednost može dovesti do nesporazuma i pogrešnih odluka UI tokom aktivnosti održavanja, što potencijalno može dovesti do povećanih troškova održavanja infrastrukture i voznog parka, kao i ugrožavanja bezbednosti železničkog saobraćaja. Primećena je neusklađenost u terminologiji između najnovijih preporuka UIC [1] i evropskih standarda [2,3]. Autori naglašavaju potrebu za standardizacijom nomenklature RCF defekata šina, uključujući upotrebu nedvosmislenog numeričkog kodiranja, bez prevođenja engleskih naziva defekata u nacionalne propise.

Ovaj rad ne uključuje analizu metoda inspekcije, jer su autori ovu temu posebno obrađivali u [4], predstavljajući savremene metode nedestruktivnog ispitivanja (NDT) koje su efikasne za inspekciju RCF defekata. Veliki broj studija izveštava o rezultatima istraživanja vezanim za upravljanje RCF defektima šina (Nemačka [5–9], Holandija [10–11], Švedska [12], Srbija [4, 13], Japan [14], itd.), ističući relevantnost i značaj ove teme.

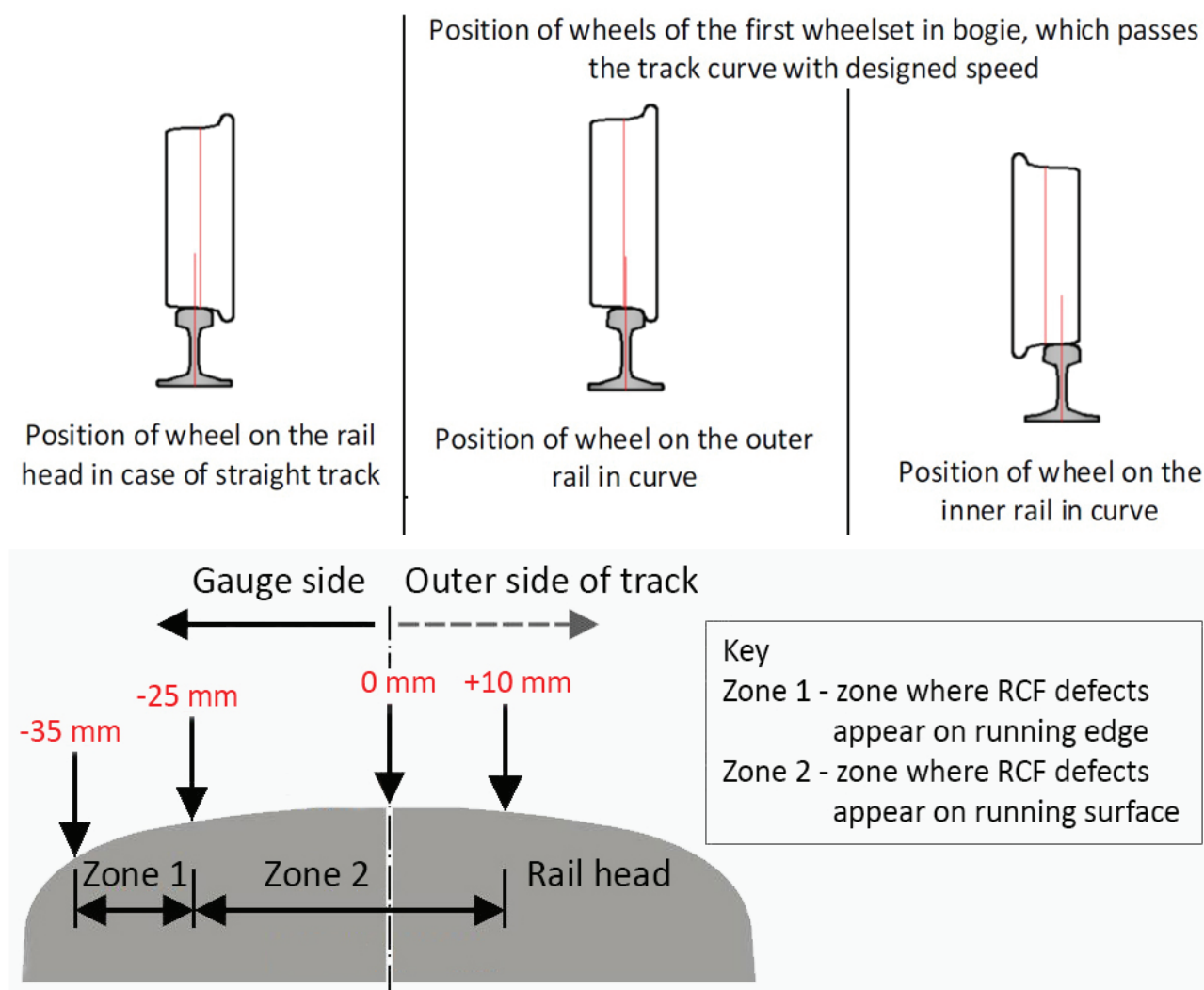
RCF je proces zamora uzrokovan kotrljanjem i klizanjem u dodiru točkova i glave šine. Rezultat je cikličnog opterećenje šina i dovodi do oštećenja povezanih sa zamorom, koja se obično nazivaju RCF defekti šina. Efikasno upravljanje RCF-om i održavanje šina neophodno je za postizanje bezbednosti, pouzdanosti i dugovečnosti železničke infrastrukture. Jasnim definisanjem ciljeva, stra-

tegija i planova održavanja, UI mogu optimizovati korišćenje resursa, smanjiti troškove i smanjiti pojavu šinskih defekata, čime održavaju optimalne performanse pruge tokom njenog životnog veka. Održavanje šina podrazumeva kombinaciju tehničkih, administrativnih i upravljačkih aktivnosti koje se sprovode tokom životnog ciklusa šine, usmerenih na očuvanje ili obnavljanje njenog stanja kako bi se osiguralo da ona nastavi da obavlja svoju funkciju kao element gornjeg stroja. Štaviše, upravljanje održavanjem obuhvata sve upravljačke zadatke kojima se definišu ciljevi, strategije i odgovornosti u procesu održavanja i obezbeđuje njihova implementacija korišćenjem alata kao što su planiranje održavanja, kontrola i kontinuirano unapređenje efikasnosti i isplativosti održavanja. Ciljevi održavanja predstavljaju specifične ciljeve utvrđene i prihvaćene za aktivnosti održavanja. To može uključivati ciljeve kao što su dostupnost sredstava, smanjenje troškova, ekološka održivost i bezbednost.

2. RCF DEFEKTI ŠINA – SMERNICE ZA ODRŽAVANJE

RCF defekti šina uočavaju se na šinama u saobraćaju na železničkim mrežama širom sveta, uključujući: (a) konvencionalne i pruge, za velike brzine (b) pruge za teške terete, mešoviti saobraćaj i pruge za putnički saobraćaj, i (c) šine u kolosecima u zastoru od tucanika, kao i u kolosecima na čvrstoj podlozi. Ključna karakteristika u upravljanju nastankom i razvojem RCF defekata jeste da se oni razvijaju u zonama visokih i složenih kontaktnih naprezanja (Slika 1). Ovo omogućava predviđanje deonice pruge koje su posebno podložne RCF-u i omogućava preduzimanje preventivnih mera, sa ciljem odlaganja nastanka defekata i smanjenja njihove brzine razvoja.

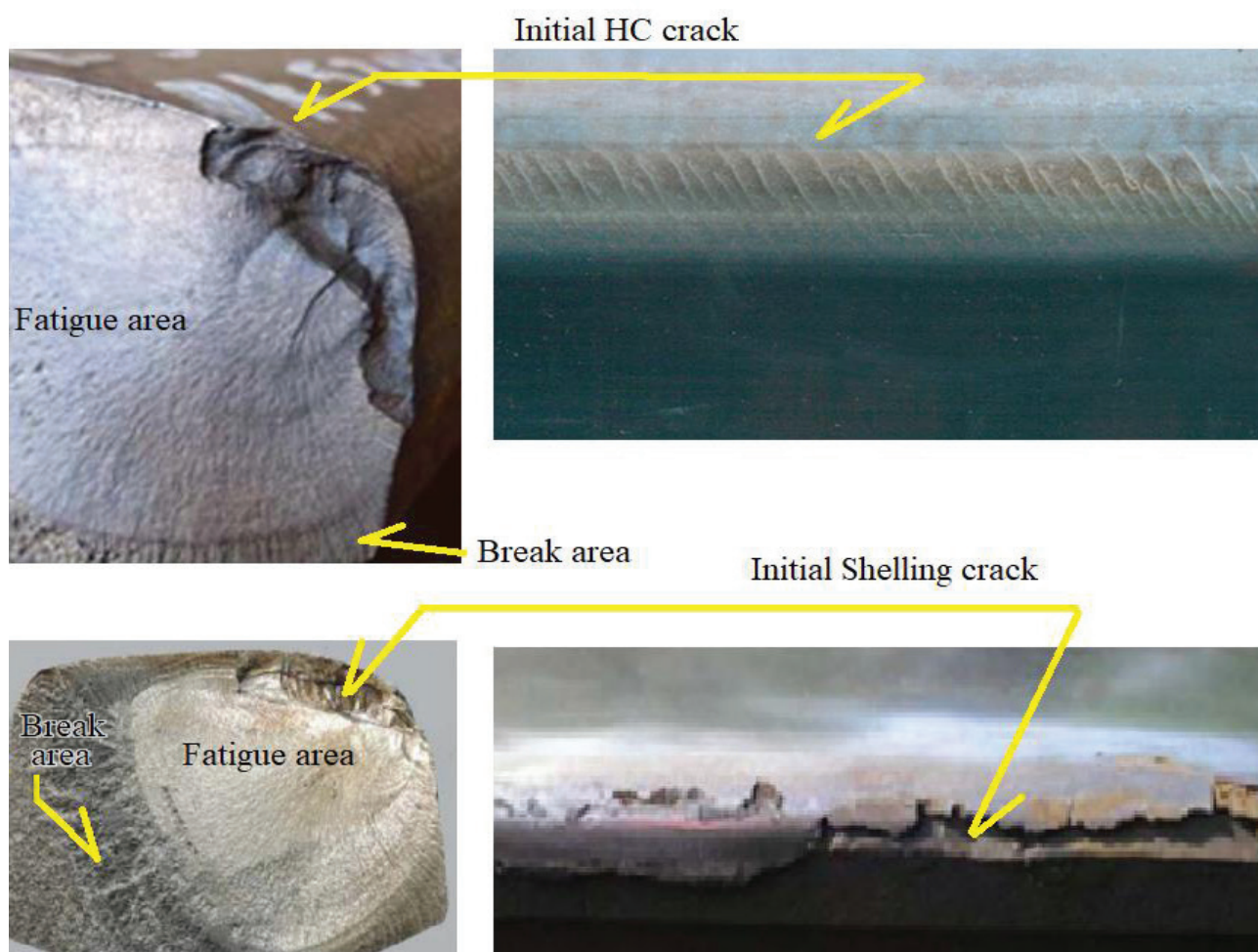
Zamor šinskog čelika u zoni dodira točak/šina podrazumeva složen proces strukturne degradacije, pokrenut unutrašnjom mikro pukotinom u glavi šine koja može dovesti do loma šine pod cikličnim opterećenjem. Za efikasno upravljanje razvojem RCF defekata, izbor odgovarajućih NDT metoda za inspekciju šina unutar koloseka je neophodan za identifikovanje defekata u ranoj fazi razvoja [4].



Slika 1. Dodir točak/šina duž koloseka i zone pojave RCF defekata

Završnu i nepoželjnu fazu razvoja RCF defekata predstavlja lom šine. Površina loma šine pokazuje karakteristične osobine kao što je prikazano na slici 2). Zona zamora obično izgleda glatko i tamno, sa jasno vidljivom početnom pukotinom,

koja je povezana sa površinom glave šine koji je izložen kontaktu sa točkom. Ovaj specifičan izgled poprečnog preseka preloma šine omogućava jednostavnu vizuelnu identifikaciju RCF defekata (Slika 2).

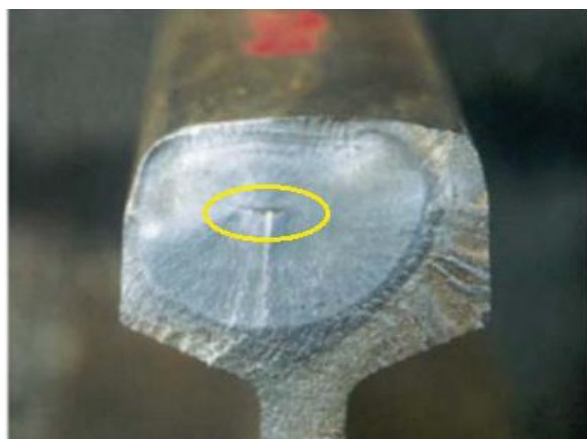


Slika 2. Površina čelika nakon loma izazvanog RCF defektima šine

Poređenja radi, na slici 3. prikazan je defekt uzrokovan inkluzijama unetim tokom procesa proizvodnje šine. Očigledno je da se početna tačka razvoja nalazi unutar poprečnog preseka, u zoni zamora čelika, i nije povezana ni sa kakvim površinskim pukotinama. Ova vrsta defekta je izuzetno opasna i nepredvidljiva i

javlja se nasumično na različitim mestima i može dovesti do višestrukih uzastopnih lomova. Takvi defekti zahtevaju drugačiji pristup održavanju, uključujući hitno ultrazvučno ispitivanje cele zapremine šine, hitnu zamenu šine i, ako je potrebno, privremeno osiguravanje vezicama.

RCF nepravilnosti na glavi šine – smernice za održavanje



Central located initiation



Initiation from inside the gauge corner area

Slika 3. Prslina u obliku bubrega nastala usled zamora zbog greške u proizvodnji

Uobičajeni tipovi RCF defekata šina [13] uključuju¹: head checking (HC), squat, Belgrospi, flaking, spalling, lipping, side cutting i corrugation. Neslaganja u terminologiji, kodiranju i definicijama između IRS 70712 i evropskih standarda EN 13231-5 i EN 16729-3 mogu izazvati nesporazume i ugroziti bezbednost. Da bi se ovo sprečilo, UI treba da standardizuju terminologiju, poželjno usvajanjem IRS 70712, i da pripreme sveobuhvatni priručnik o defektima šina sa detaljnim opisom

lokacija, uzroka, metoda otkrivanja i načina održavanja u praksi. Posebna pažnja je potrebna za kombinovane RCF defekte (slike 4-7), na koje se uglavnom ne obraća dovoljno pažnje uprkos visokom riziku od pojave loma. Napori komisije CEN/TC 256 za harmonizaciju, u kombinaciji sa unapređenjem metoda inspekcije i obukom osoblja, neophodni su za obezbeđivanje dosledne i tačne identifikacije defekata na evropskim železničkim mrežama.



Slika 4. Kombinovani defekt (corrugation i Belgrospi) u zoni srca skretnice na železničkoj pruzi Beograd-Noví Sad

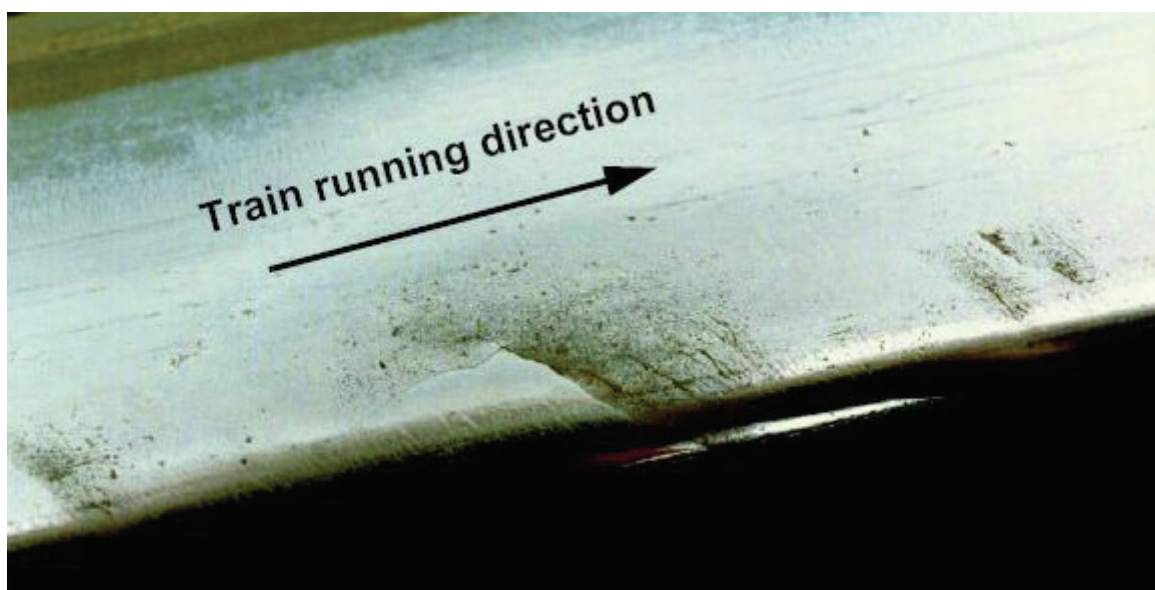
¹ U skladu sa preporukom, nazivi defekata su navedeni na engleskom jeziku.



Slika 5. Primer kombinovanog defekta koji uključuje corrugation, squat i squat seed



Slika 6. Prslina u squat defektu i lokalno udubljenje kod aluminotermijskog zavora



Slika 7. Squat defekt na voznoj ivici kombinovan sa HC defektom

Defekti se javljaju formiranjem naboranosti kratkih talasnih dužina dubine 0,03 mm. Ako se ova naboranost blagovremeno ne ukloni brušenjem, razvija se defekt Belgrospi koji može evoluirati u squat defekt. Autori ističu da dubina nabora od 0,03 mm na voznoj površi glave šine značajno povećava dinamičke sile koje deluju na šinama pruga za velike brzine. Iz tog razloga, ova vrednost je propisana kao donji prag za preduzimanje aktivnosti na brušenju glave šine. U urbanim sredinama, upravljanje razvojem ove kombinacije defekata povezano je sa uklanjanjem nabora radi smanjenja emisije buke i vibracija. Tokom vizuelnog pregleda defekata u stanici Pančevo Varoš, utvrđeno je prisustvo defekata tipa Belgrospi, koji se javljaju kao takozvano seme za razvoj squat defekata (Slika 5).

Lokalne heterogenosti u tvrdoći šine u zoni uticaja toplote aluminotermijskog zavarivanja mogu izazvati squat defekt šine (Slika 6). Pored vizuelnog pregleda, preporučuje se primena ultrazvučnog i ispitivanja vrtložnim strujama u zoni zavora.

Posebno opasna kombinacija je razvoj squat defekta na voznoj ivici šine sa HC defektom (Slika 7). Ova kombinacija može dovesti do spontanog loma šine ispod vozila koje prolazi. Kada se koristi podmazivanje šina u krivinama, posebna pažnja mora

se obratiti na sprečavanje pojave da kontaminacija maskira površine zahvaćene ovom opasnom kombinacijom defekata šina.

S obzirom na to da su šine osnovni element pruge, njihovi troškovi nabavke, ugradnje i održavanja značajno utiču na ukupne troškove životnog ciklusa (LCC) železničke infrastrukture. UI se sve više okreću na smanjenje troškova, čime uzimanje u obzir LCC-a predstavlja ključni deo tržišne strategije. Ovaj pristup doveo je do poboljšanja postojećih šinskih čelika i razvoja novih vrsta čelika.

Rezultati međunarodnog istraživačkog projekta [15] pokazuju korelaciju između zakrivljenosti koloseka i degradacije šina: habanje preovlađuje na krivinama sa radijusima do 1000 m, dok se RCF defekti javljaju na krivinama sa radijusima između 500 m i 5000 m. HC defekt je podrazumevan kao dominantni tip RCF defekta u ovom projektu.

U poređenju sa standardnom vrstom čelika R260, R350HT sa termički obrađenom tvrdom glavom šine pokazuje približno tri puta veću otpornost na habanje i najmanje dvostruko veću otpornost na RCF defekte [15]. Mnogi UI su odstupili od preporuka UIC iz 2005. godine i razvili sopstvene strategije izbora vrste čelika (Tabela 1).

Tabela 1. Pregled smernica za izbor vrste čelika na železničkim prugama sa mešovitim saobraćajem

Radius [m]	≤300	≤400	≤700	≤800	≤1500	≤3000	>3000
UIC	R350HT		R350HT / R260		R260		
DB	R350HT (≥ 30,000 t/d)			R260			
DB new	R350HT (≥ 50,000 t/d)					R260	
CH	R350LHT		R350LHT / R320Cr		R260		
AT	R350HT	R260					
SWE	R350HT	R260					
SWE (HH)	R350HT						R260
NOR	R350HT			R260			
UK	R260						
IT	R260						
BE, LUX	R350HT			R260			
NL	R350HT / R370CrHT	R370CrHT					R260
DK	R350HT			R260			
PL	R350HT			R260			
H	R350HT			R260			
RO	R350HT			R260			

Krutost šinskog oslonca ključni je faktor koji utiče i na nastanak i na razvoj RCF defekata. Ova korelacija je potvrđena inspekcijom squat defekata u stanici Pančevo Varoš, koju su izvršili autori.

Savremeno upravljanje razvojem RCF defekata prvenstveno se oslanja na reprofilisanje šina na pruzi. Različiti UI usvajaju različite strategije reprofilisanja na osnovu svog iskustva, stručnosti i važećih tehničkih propisa. Reprofilisanje produžava vek trajanja šina, smanjuje troškove održavanja i unapređuje bezbednost.

3. ZAKLJUČAK

Ovaj rad ispituje ograničenja postojećih standarda i naglašava potrebu za usklađenom terminologijom. Predlaže se koncept jedinstvenog priručnika o šinskim defektima, koji je prilagođen operativnom okviru pojedinačnih UI. Dalje, analizira se uloga sistematskih inspekcija, primena naprednih tehnologija detekcije i implementacija reprofilisanja šina kao primarne strategije održavanja.

Osnovni zaključci rada su sledeći:

- kombinovani defekti predstavljaju kritičan bezbednosni rizik zbog velike verovatnoće loma šina, ali nisu dovoljno obrađeni u važećim klasifikacijama;
- kvalitet čelika i krutost šinske podloge imaju odlučujući uticaj na nastanak i razvoj RCF defekata;
- povezivanje karakteristika defekata sa konstruktivnim i materijalnim svojstvima značajno unapređuje efikasnost u planiranju održavanja.

Usklađeni sistem klasifikacije i okvir za upravljanje defektima neophodni su za poboljšanje pouzdanosti i bezbednosti železničke infrastrukture. Usvajanje jedinstvenog priručnika za šinske defekte, koji je potkrepljen doslednom terminologijom, sistematskim inspekcijama i naprednim strategijama održavanja, obezbedio bi upravljačima železničke infrastrukture robusniji set alata za prevenciju i kontrolu RCF-a. Autori posebno predlažu:

- prikupljanje istorijskih i aktuelnih podataka o šinama unutar koloseka, uključujući konstruktivne karakteristike, evidenciju inspekcija i održavanja, kao i dokumentovane defekte;
- analizu ovih podataka radi procene trenutnog

stanja šina i identifikacije potencijalnih problema unutar koloseka, uključujući donji stroj;

- razvoj intervencija, popravki ili preventivnih mera usmerenih na održavanje ili obnavljanje šina, celokupne konstrukcije koloseka i voznog parka.

Zaključke ovog rada trebalo bi implementirati u tehničke propise za održavanje železničke infrastrukture.

ZAHVALNICA

Ovo istraživanje je podržalo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije kroz istraživački projekat br. 200092.

LITERATURA

- [1] International Union of Railways: IRS 70712, Rail defects – Track structure – Identification and classification of rail defects. (2018).
- [2] CEN: EN 13231-5, Railway applications - Track - Acceptance of works - Part 5: Procedures for rail reprofiling in plain line, switches, crossings and expansion devices. (2018).
- [3] CEN: EN 16729-3, Railway applications - infrastructure - non-destructive testing on rails in track - Part 3: Requirements for identifying internal and surface rail defects. (2018).
- [4] Mičić, M., Brajović, L., Lazarević, L., Popović, Z.: Inspection of RCF rail defects–Review of NDT methods. Mechanical Systems and Signal Processing 182, 109568 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109568>
- [5] Heyder, R., Brehmer, M.: Empirical studies of head check propagation on the DB network. Wear 314(1–2), 36–43 (2014). <https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.11.035>
- [6] Schoech, W., Heyder, R., Grohmann, H.D.: Contact geometry and surface fatigue – guidelines for appropriate rail maintenance. In: 7th Int. Conf. Contact Mech. Wear Rail/Wheel Syst (2006).
- [7] Dey, A., Casperson, R., Pohl, R., Thomas, H.M.: Die Klassifizierung von Oberflächenfehlern in Schienen mit der Wirbelstromprüfung. DG-ZfP-Jahrestagung, Münster (2009), 94.
- [8] Heyder, R., Girsch, G.: Testing of HSH® rails

- in high-speed tracks to minimize rail damage. *Wear* 258(7-8), 1014-1021 (2005). <https://doi.org/10.1016/j.wear.2004.03.050>
- [9] Rohmann, H.D.: Beschädigungsarten an der Schiene - Verursacht durch den Betrieb. In: *Internationales Symposium Schienenfehler, Brandenburg* (2000), 27-38.
- [10] Zoeteman, A., Dollevoet, R., Li, Z.: Dutch research results on wheel/rail interface management: 2001–2013 and beyond. *Journal of Rail and Rapid Transit* 228(6), 642-651 (2014). <https://doi.org/10.1177/095440971452437>
- [11] Dollevoet, R. P. B. J.: Design of an anti-head checking profile based on stress relief. PhD Thesis, University of Twente (2010).
- [12] Krishna, V. V., Hossein-Nia, S., Casanueva, C., Stichel, S.: Long term rail surface damage considering maintenance interventions. *Wear* (460-461), 203462 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203462>
- [13] Popović, Z., Lazarević, L., Mičić, M., Brajović, L.: Critical analysis of RCF rail defects classification. *Transportation Research Procedia* 63, 2550-2561 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.294>
- [14] Ishida, M.: History of mitigating rolling contact fatigue and corrugation of railway rails in Japan - Review. *EPI International Journal of Engineering* 1(2), 13-24 (2018). <https://doi.org/10.25042/epi-ije.082018.02>
- [15] Innotrack: Definitive guidelines on the use of different rail grades. (2006). Available at: https://www.charmec.chalmers.se/innotrack/deliverables/sp4/d415-f3-railgrade_selection.pdf.

ANALIZA UČINKA EVROPSKIH ŽELEZNIČKIH TERETNIH KORIDORA

PERFORMANCE ANALYSIS OF EUROPEAN RAIL FREIGHT CORRIDORS

UDK: 656.2 + 314/316 | 32/34

REZIME:

Od njihovog uvođenja prema Uredbi EU 913/2010, železnički teretni koridori namenjeni su poboljšanju konkurentnosti, interoperabilnosti i efikasnosti međunarodnog železničkog teretnog transporta. Međutim, više od decenije kasnije, stalni tehnološki, infrastrukturni i koordinacioni izazovi ukazuju na to da očekivane koristi nisu u potpunosti postignute. Postojeća literatura uglavnom se fokusira na pojedinačne koridore, specifične karakteristike ili pojedine aspekte transportne politike, čime se ostavlja praznina u sveobuhvatnim, uporednim analizama zasnovanim na harmonizovanim pokazateljima. Ovaj rad se bavi tom prazninom u proceni tržišnog i saobraćajnog učinka svih koridora korišćenjem javno dostupnih ključnih pokazatelja učinka. Analiza obuhvata ponuđene i zahtevane kapacitete, iskorišćenost unapred dogovorenih trasa, prosečne planirane brzine vozova i broj vozova na graničnim prelazima. Uprkos određenom institucionalnom napretku, rezultati pokazuju ograničeno poboljšanje ukupne efikasnosti, budući da trajne strukturne i tehnološke barijere i dalje ometaju konkurentnost železnice širom Evrope.

Ključne reči: teretni transport, železnički koridori, pokazatelji učinka

SUMMARY:

Since their introduction under EU Regulation 913/2010, Rail Freight Corridors have been intended to enhance the competitiveness, interoperability, and efficiency of international rail freight. However, more than a decade later, persistent operational, infrastructural, and coordination challenges suggest that the expected benefits have not been fully achieved. Existing studies often focus on individual corridors, specific performance or policy aspects, leaving a gap in comprehensive, comparative analyses based on harmonized indicators. This paper addresses that gap by evaluating the market and operational performance of all corridors using publicly available key performance indicators. The analysis covers offered and requested capacity, utilization of pre-arranged paths, average planned train speeds, and train volumes at border crossings. Despite institutional progress, the findings show limited improvement in overall efficiency, as enduring structural and operational barriers continue to hinder rail's competitiveness across Europe.

Keywords: Freight transport, Rail corridors, Performance indicators

* Miroslav Prokić, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, miroslav.prokic@yahoo.com

1. UVOD

Evropski železnički teretni koridori (ŽTK - eng. RFCs) uspostavljeni su radi podrške razvoju konkurentnog, integrisanog i efikasnog tržišta železničkog teretnog transporta u Evropi. Uvedeni su u skladu sa Uredbom 913/2010, i imaju za cilj da olakšaju međunarodni teretni transport duž strateških ruta poboljšanjem prekogranične koordinacije, harmonizacijom infrastrukturnih kapaciteta i stvaranjem uslova za prelazak tereta sa drumskog na železnički transport. Povezivanjem glavnih aerodroma, logističkih čvorišta, industrijskih centara i unutrašnjih terminala, ŽTK obezbeđuju kontinuitet i pouzdanost prekograničnih teretnih tokova unutar i van EU.

Inicijativa je bila direktan odgovor na dugogodišnje saobraćajne i regulatorne izazove, uključujući fragmentirano i nacionalno orijentisano upravljanje infrastrukturu, nestandardizovana tehnološka pravila, složene granične procedure i nedovoljnu koordinaciju između upravljača infrastrukture (UI - eng. IMs) i železničkih prevoznika (ŽP - eng. RUs). Kroz namenske strukture upravljanja, standardizovane mehanizme raspodele kapaciteta i Sistem jedinstvenog šaltera za koridore (Corridor One-Stop Shop - C-OSS), Uredba 913/2010 je nastojala da reši ove strukturne i saobraćajne prepreke.

Od početne primene Uredbe 913/2010, uspostavljeno je jedanaest RFC-ova. Iako su se institucionalno usklađivanje i instrumenti zasnovani na koridorima poboljšali, merljivi pozitivan učinak ostaje ograničen i neravnomerno raspoređen. Više od jedne decenije kasnije, i dalje su očigledni trajni raskoraci između političkih ciljeva i ostvarenih rezultata: iskorišćenost kapaciteta je ispod očekivanja, prekogranične prepreke i dalje postoje, a pokazatelji tačnosti i pouzdanosti ukazuju na nizak nivo učinka.

Prethodni radovi ispitali su ove izazove iz više perspektiva. Dedić i dr. [1] analizirali su RFC-ove sa ciljem poboljšanja efikasnosti i konkurentnosti železničkog teretnog transporta u evropskim zemljama

ma koje posluju u okviru CIM transportnog režima [1]. Finger i Kuper [2] razmatrali su probleme sa kojima se suočava evropski železnički teretni transport, sa posebnim fokusom na RFC-ove. Troš [3] je ispitao železničku politiku EU o međunarodnim koridorima za železnički teretni transport, koristeći železnički teretni koridor Orijent/Istočni Mediteran br. 7 kao studiju slučaja. Finger i dr. [4] bavili su se nedostacima upravljanja RFC-ovima, zalažući se za jaču nadnacionalnu koordinaciju i digitalizaciju tehnoloških procedura. Đorđević i dr. [5] procenili su efikasnost osam RFC-ova koristeći DEA metodu, procenjujući potencijalne koristi digitalnog automatskog kvačenja vozniha kompozicija i inteligentnih video kapija. Abramović i dr. [6] ispitali su RFC Alpi – Zapadni Balkan, fokusirajući se na njegovu ulogu u poboljšanju pristupačnosti i kvaliteta usluga između Centralne i Jugoistočne Evrope. Uprkos ovim doprinosima, još uvek ne postoji sveobuhvatna, ažurirana procena učinka RFC-a koja pokriva sve koridore i granične prelaze.

Ovaj rad se bavi tim jazom kroz evaluaciju učinka svih RFC-ova koristeći odabrane pokazatelje prikupljenih iz zvaničnih izveštaja o koridorima, kao i izradom toplotne mape transportnih tokova na svakom graničnom prelazu. Analiza ima tri cilja:

- da ispita prakse upravljanja infrastrukturnim kapacitetom kao i atraktivnost tržišno orijentisanih proizvoda koridora koji se odnosi na taj kapacitet;
- da proceni transportni učinak, uključujući broj vozova, planirane u odnosu na stvarne komercijalne brzine i tačnost vozova;
- da istraži razvoj tržišta kroz obrasce korišćenja i uticaj tehnoloških i regulatornih barijera, kao što su vreme zadržavanja na granicama i nacionalna pravila određivanja prioriteta.

Sprovođenjem ove sveobuhvatne procene, rad identifikuje strukturna ograničenja i operativne neefikasnosti koje i dalje ograničavaju efikasnost RFC-a. Rezultati pružaju uvide zasnovane na dokazima kako bi se informisali donosioci političkih odluka usmerenih za razvoj ciljanih mera da bi se ostvarila poboljšanja ukupnog učinka ovih koridora.

2 ANALIZA UČINKA ŽELEZNIČKIH TERETNIH KORIDORA

Uredba 913/2010 zahtevala je od država članica EU da uspostave međunarodne železničke teretne koridore kojima upravljaju posebne upravljačke strukture. U početku je Uredba 913/2010 definisala devet koridora, od kojih je šest trebalo da postane operativno do novembra 2013. godine, a preostala tri do novembra 2015. godine. Naknadno je mreža proširena dodavanjem još dva koridora, RFC 10 i RFC 11, čime je ukupan broj porastao na jedanaest. To su:

- RFC 1 Rajna – Alpi;
- RFC 2 Severno more – Sredozemno more;
- RFC 3 Skandinavija – Sredozemno more;
- RFC 4 Atlantski;
- RFC 5 Baltičko-Jadranski;
- RFC 6 Sredozemno more;
- RFC 7 Orijent/Istočno-Sredozemni, koji je pre-
stao sa radom 2025. godine;
- RFC 8 Severno more – Baltičko more;
- RFC 9 Rajna – Dunav;
- RFC 10 Alpi – Zapadni Balkan;
- RFC 11 Amber.

Da bi se pratio učinak RFC-a, uspostavljen je skup ključnih pokazatelja učinka (KPU), grupisanih u tri glavne kategorije: upravljanje kapacitetom, transportni učinak i razvoj tržišta. Detaljan opis ovih indikatora i njihove definicije mogu se naći u radu [8].

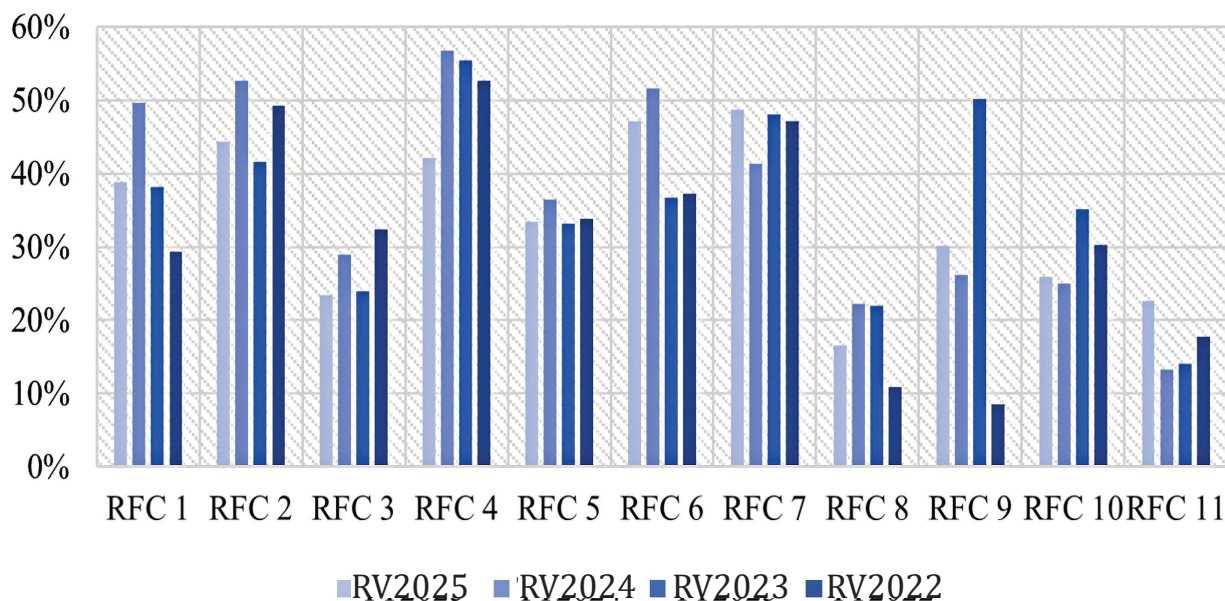
Naša analiza učinka počela je sa upravljanjem kapacitetom, osnovnim ciljem RFC-a koji ima za cilj poboljšanje koordinacije između vlada, upravljača infrastrukture, železničkih prevoznika i terminala kroz jedinstveni okvir za planiranje i raspodelu voznih trasa. Ovaj okvir je implementiran putem C-OSS-a, digitalnog interfejsa koji omogućava železničkim prevoznicima da zahtevaju trase duž celog koridora bez kontaktiranja pojedinačnih upravljača infrastrukture.

Dva ključna tržišna proizvoda uvedena su kroz RFC okvir: unapred utvrđene trase vozova (Pre-arran-

ged Paths - PaPs) i rezervni kapacitet (Reserve Capacity - RC). PaPs predstavljaju unapred utvrđene trase vozova koje se nude železničkim prevoznicima pre redovnog procesa raspodele kapaciteta i namenjene su isključivo međunarodnim teretnim uslugama. Nasuprot tome, RC se sastoji od unapred utvrđenih trasa koje ostaju dostupne tokom celog perioda reda vožnje kako bi se zadovoljili ad-hoc zahtevi tržišta. Ovaj proizvod je dizajniran da obezbedi fleksibilnost u raspodeli kapaciteta, odražavajući često nestabilnu i nepredvidivu prirodu tražnje za železničkim prevozom tereta. Oba proizvoda, PaPs i RC, mere se u kilometar-danima, što predstavlja proizvod dužine trase voza (između železničkih stanica) i broja dana kada je trasa dostupna [8].

Kapacitet infrastrukture koji nude upravljači infrastrukture predstavljen je količinom PaPs-ova, koji čine usklađenu ponudu koju zajednički razvijaju upravljači infrastrukture duž koridora. Ove trase vozova su definisane preciznim tehničkim i tehnološkim parametrima, uključujući dozvoljeno osovinsko opterećenje, dužinu voza, tip lokomotive i usklađena vremena dolaska i polaska na graničnim stanicama. PaPs objavljuju se kao deo godišnjeg reda vožnje 11 meseci pre njihovog stupanja na snagu, pružajući osnovu za dugoročno planiranje kapaciteta [8].

Analiza odnosa između ponuđenog i dodeljenog kapaciteta za red vožnje 2022–2025, na osnovu podataka sa veb stranice RNE i ilustrovana na slici 1, pokazuje da iskorišćenost PaPs-ova ostaje znatno ispod ukupnog ponuđenog obima. U većini slučajeva, dodela ne prelazi 50% raspoloživog kapaciteta, sa najvišim stopama na RFC 2, RFC 4 i sada ukinutom RFC 7, a najnižim na RFC 8 i RFC 11. Ova neravnoteža odražava ograničenu atraktivnost PaPs-ova za železničke prevoznike. Fiksni parametri PaPs-ova, kao što su vremena polazaka, masa voza, tip lokomotive, često ne odgovaraju dinamičnim potrebama tržišta, dok njihovo rano objavljivanje u godišnjem ciklusu planiranja smanjuje njihovu primenljivost kada se operativni zahtevi u potpunosti definišu.



Slika 1. Odnos između ponuđenih i stvarno dodeljenih PaPs-ova, razvijen od strane autora na osnovu podataka iz [9]

Dalji problem je neusklađenost između ponuda kapaciteta upravljača infrastrukture i komercijalnih prioriteta železničkih prevoznika. U odsustvu pouzdane garancije da će ad-hoc zahtevi zadovoljiti njihove potrebe, železnički prevoznici često rezervišu kapacitet tokom godišnjeg planiranja kako bi izbegli buduće nestašice kapaciteta, čak i bez jasne namere da ga koriste. Međutim, u ovoj fazi im često nedostaju bitni tehnološki detalji kao što su tačna vremena polazaka, sastav voza i zahtevi za vuču. Kao rezultat toga, mnogi početni zahtevi se kasnije modifikuju ili povlače, što dodaje administrativno i tehničko opterećenje, kako za železničke prevoznike tako i za upravljače infrastrukturom. Prema podacima Rail Net Europe i Forum Train Europe, samo 20–25% zahteva za trase ostaje nepromenjeno, dok 75–80% zahteva modifikacije, što troši značajno vreme i resurse [10].

Iako analiza iskorišćenja kapaciteta ističe proceduralne izazove u planiranju, podjednako je važ-

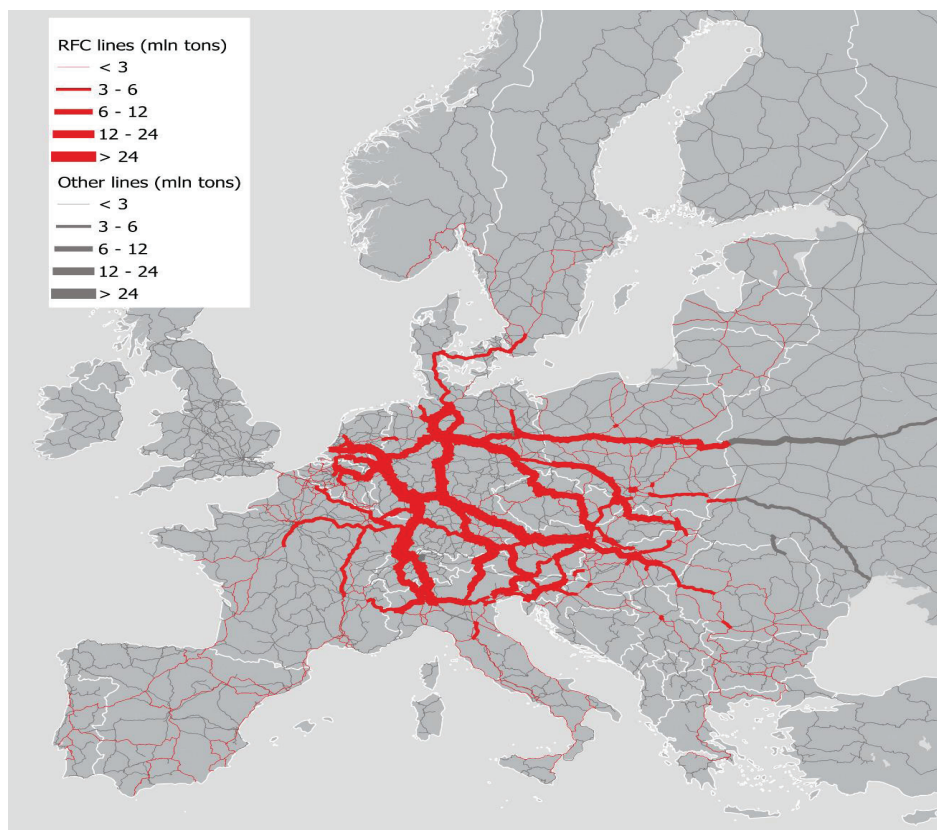
no ispitati kako se ovi faktori prevode u stvarni obim transporta. Jedan od osnovnih pokazatelja koji se koristi za procenu učinka koridora u kategoriji razvoja tržišta je broj vozova po graničnom prelazu. Ovaj pokazatelj obuhvata ukupan broj komercijalnih teretnih vozova koji su prošli kroz određeni granični prelaz duž RFC [8]. S obzirom na to da su kompletni i usklađeni podaci dostupni za sve koridore od 2021. godine, ova analiza se fokusira na period od 2021. do 2023. godine. Shodno tome, razvijene su dve toplotne mape za vizuelizaciju učinka koridora. Prvi, predstavljen u Tabeli 1a, prikazuje medijanu broja teretnih vozova po graničnom prelazu tokom posmatranog perioda, sa ciljem identifikacije najkorišćenijih graničnih prelaza. Drugi, prikazan u Tabeli 1b, ilustruje relativno povećanje ili smanjenje broja vozova u 2023. godini u poređenju sa 2021. godinom, ističući značajne promene u tokovima saobraćaja i pomažući u identifikaciji potencijalnih osnovnih pokretača ovih promena.

Tabela 1. Toplotna mapa za medijanu broja vozova a) i Toplotna mapa rasta/pada broja vozova u poređenju sa 2021. godinom b), razvijena od strane autora na osnovu podataka iz [9]

a)			b)		
RFC	Granica	Broj vozova	RFC	Granica	Rast/pad
RFC 1	DE - CH	49,842	RFC 8	PL - LT	89.67%
RFC 8	NL - DE	46,187	RFC 4	Hendaye	26.05%
RFC 1	NL - DE	46,175	RFC 9	DE - CZ	18.36%
RFC 1	CH - IT	45,782	RFC 3	Kornsjo	17.01%
RFC 9	DE - AT	41,528	RFC 6	SI - HR	11.84%
RFC 7	DE - CZ	27,447	RFC 7	RO - BG	11.55%
RFC 8	DE - CZ	27,447	RFC 9	AT - SK	11.52%
RFC 8	DE - PL	27,355	RFC 5	AT - SK	11.14%
RFC 5	PL - CZ	26,454	RFC 7	AT-SK	11.14%
RFC 3	Kufstein	24,768	RFC 10	RS - BG	10.18%
RFC 1	BE - DE	22,232	RFC 10	HR - RS	8.28%
RFC 8	BE - DE	22,232	RFC 5	CZ - AT	7.43%
RFC 11	SK - HU	20,301	RFC 7	CZ-AT	7.41%
RFC 7	AT - HU	20,289	RFC 5	PL - CZ	5.88%
RFC 9	AT - HU	20,289	RFC 2	FR - CH	4.25%
RFC 3	Brenner/Brennero	19,866	RFC 10	AT - SI	1.67%
RFC 5	AT - IT	19,147	RFC 10	SI - HR	1.17%
RFC 7	SK - HU	16,759	RFC 9	DE - AT	0.90%
RFC 7	CZ - SK	16,688	RFC 4	Irun	0.89%
RFC 10	AT - SI	14,964	RFC 8	NL - DE	0.03%
RFC 9	CZ - SK	14,270	RFC 3	Padborg/Flensburg	-0.68%
RFC 5	CZ - SK	13,418	RFC 1	NL - DE	-1.33%
RFC 5	CZ - AT	12,027	RFC 2	BE - LU	-1.75%
RFC 7	CZ-AT	12,027	RFC 11	HU - SI	-3.12%
RFC 2	BE - FR	11,634	RFC 2	NL - BE	-3.38%
RFC 7	HU - RO	10,904	RFC 8	NL - BE	-3.44%
RFC 9	HU - RO	10,904	RFC 6	SI - HU	-3.89%
RFC 4	DE - FR	9,759	RFC 8	DE - PL	-4.48%
RFC 5	AT - SI	9,154	RFC 7	DE - CZ	-4.49%
RFC 3	Padborg/Flensburg	9,116	RFC 8	DE - CZ	-4.49%
RFC 5	AT - SK	8,749	RFC 5	AT - IT	-4.67%
RFC 7	AT-SK	8,749	RFC 1	CH - IT	-4.67%
RFC 9	AT - SK	8,604	RFC 4	ES - PT	-4.90%
RFC 2	NL - BE	8,465	RFC 6	HR - HU	-4.94%
RFC 8	NL - BE	8,465	RFC 9	CZ - SK	-5.08%
RFC 6	FR - IT	8,271	RFC 1	DE - CH	-5.11%
RFC 5	IT - SI	7,940	RFC 1	BE - DE	-5.18%
RFC 6	IT-SI	7,612	RFC 8	BE - DE	-5.18%
RFC 6	SI - HR	7,161	RFC 3	Lernacken	-6.27%
RFC 10	SI - HR	7,161	RFC 3	Brenner/Brennero	-6.62%
RFC 3	Lernacken	6,965	RFC 7	AT - HU	-6.76%
RFC 6	HR - HU	6,741	RFC 9	AT - HU	-6.76%
RFC 11	HU - SI	6,544	RFC 5	CZ - SK	-7.45%
RFC 6	SI - HU	6,492	RFC 2	LU - FR	-9.59%
RFC 2	LU - FR	5,842	RFC 5	IT - SI	-11.51%
RFC 2	FR - CH	5,322	RFC 9	SK - HU	-12.94%
RFC 9	SK - HU	5,295	RFC 4	DE - FR	-13.60%
RFC 6	ES - FR	4,562	RFC 9	FR - DE	-13.92%
RFC 7	RO - BG	4,183	RFC 3	Kufstein	-14.25%
RFC 10	HR - RS	4,132	RFC 7	HU - RO	-14.94%
RFC 10	RS - BG	3,711	RFC 9	HU - RO	-14.94%
RFC 9	DE - CZ	2,811	RFC 6	IT-SI	-15.17%
RFC 4	Irun	2,465	RFC 11	SK - HU	-15.29%
RFC 4	ES - PT	2,393	RFC 7	SK - HU	-16.72%
RFC 2	BE - LU	2,190	RFC 6	ES - FR	-19.38%
RFC 11	PL - SK	1,972	RFC 2	BE - FR	-23.38%
RFC 9	FR - DE	1,961	RFC 7	CZ - SK	-25.89%
RFC 4	Hendaye	1,812	RFC 5	AT - SI	-30.79%
RFC 8	PL - LT	1,666	RFC 11	PL - SK	-33.28%
RFC 3	Kornsjo	1,401	RFC 8	LT - LV	-39.32%
RFC 2	GB - FR	1,136	RFC 2	GB - FR	-40.27%
RFC 8	LT - LV	891	RFC 6	FR - IT	-59.47%
RFC 8	LV - EE	830	RFC 8	LV - EE	-68.32%
RFC 7	BG - GR	396	RFC 7	BG - GR	-74.24%

Toplotna mapa medijane broja vozova identifikuje najprometnije granične prelaze kao one koji uključuju Nemačku, posebno Nemačka – Holandija (RFC 1 i 8), Nemačka–Švajcarska (RFC 1), Nemačka – Austrija (RFC 9) i Nemačka – Češka (RFC 7 i 8). Nemačka, zajedno sa Švajcarskom i Italijom, u proseku godišnje opslužuje preko 40.000 teretnih vozova, što potvrđuje njenu ulogu

centralnog tranzitnog i distributivnog čvorišta evropske mreže železničkog teretnog transporta. Ovi rezultati se poklapaju sa studijom transportnog tržišta iz 2022. godine predstavljenom na slici 2, koja takođe ističe dominantnu poziciju Nemačke i njene veze sa Holandijom, Belgijom, Francuskom, Austrijom, Švajcarskom i Češkom [11].



Slika 2. Transportni tokovi duž RFC-ova [11]

Značajan obim transporta je takođe zabeležen na rutama koje povezuju Poljsku sa ostatkom Evrope, posebno RFC 5 i 8, što odražava interkontinentalne tokove iz Ukrajine i Kine i rastući značaj poljskih terminala u evroazijskom teretnom transportu. Nasuprot tome, baltičke države povezane sa RFC 8 i granica Bugarske i Grčke na RFC 7 su među najmanje korišćenim deonicama.

Između 2021. i 2023. godine, obim prevoza tereta značajno je porastao na određenim graničnim prelazima, a najznačajnije na prelazu Litvanija–Poljska, koji je zabeležio porast od 90%. Ova promena je prvenstveno vođena ratom u Ukrajini i

posledičnim preusmeravanjem saobraćajnih tokova sa tradicionalnih istočnih ruta preko baltičkih zemalja. Značajan rast je takođe zabeležen na prelazu Andej na RFC 4, sa povećanjem od 26%, dok je alternativni prelaz Francuska–Španija na RFC 6 doživeo pad od 19%. Dodatni rast primećen je na prelazima koji uključuju Austriju, Češku Republiku i Slovačku, što dodatno naglašava njihov strateški značaj kao ključnih veza između jugoistočne i zapadne Evrope.

Međutim, od 64 praćena prelaza, 44 su zabeležila pad obima transporta u 2023. godini, sa najvećim padom u jugoistočnoj Evropi. RFC 7 poseb-

no je pogođen, sa obimom na deonici Bugarska – Grčka koji je pao za preko 74% u poređenju sa 2021. godinom i daljim padom na granici Rumunija-Bugarska, što je doprinelo delimičnom ukidanju pojedinih delova RFC 7. U Zapadnoj Evropi, železnički transport između Italije i Francuske opao je za preko 30%, prvenstveno zbog klizišta u dolini Morjen u avgustu 2023. godine, koje je poremetilo železnički transport kroz tunel Frežis i prekinulo ključnu železničku vezu između dve zemlje [12].

Ukupan obim međunarodnog kopnenog teretnog transporta u okviru područja jedanaest RFC-ova je približno 1,5 milijardi tona, od čega se samo 265 miliona tona, oko 18%, prevozi železnicom. Ovaj skroman udeo naglašava kontinuiranu dominaciju drumskog transporta i izazove u pozicioniranju železnice kao konkurentne opcije za međunarodni teretni transport u Evropi [11].

Da bismo istražili vezu između obima transporta i operativnih ili regulatornih barijera, ispitali smo KPU kao što je prosečna planirana brzina PaPs-

ova, koji predstavlja pokazatelj učinka koridora, merenog u kilometrima na sat, između definisanih parova polazišta i odredišta u oba smera [8]. Tabela 2 prikazuje planirane brzine za odabrane PaPs-ove na RFC-ovima koji prolaze kroz Centralnu i Zapadnu Evropu (RFC 1 i 3) i Jugoistočnu Evropu (RFC 7 i 10), uključujući samo one koji prelaze najmanje dva granična prelaza. Rezultati pokazuju da RFC 1 i RFC 3 konstantno postižu veće planirane brzine od svojih jugoistočnih pandana.

Ova razlika odražava se u kvalitetu infrastrukture i institucionalnom okruženju. RFC 1, na primer, u potpunosti prolazi kroz države članice EU i Šengena, izbegavajući dupliranje graničnih procedura, dok RFC 10 uključuje Srbiju i zemlje u EU, kao što su Rumunija i Bugarska, gde su potrebne carinske i granične kontrole. Prosečne planirane brzine takođe imaju tendenciju da precene stvarne komercijalne brzine, koje su smanjene tehnološkim i tehničkim kašnjenjima. U intermodalnom transportu od vrata do vrata, dolazi do dodatnih smanjenja komercijalne brzine usled manevrisanja, rukovanja na terminalima i last-mile isporuke [10].

Tabela 2. Prosečna planirana brzina odabranih PaPs-ova, razvijeno od strane autora na osnovu podataka iz [9]

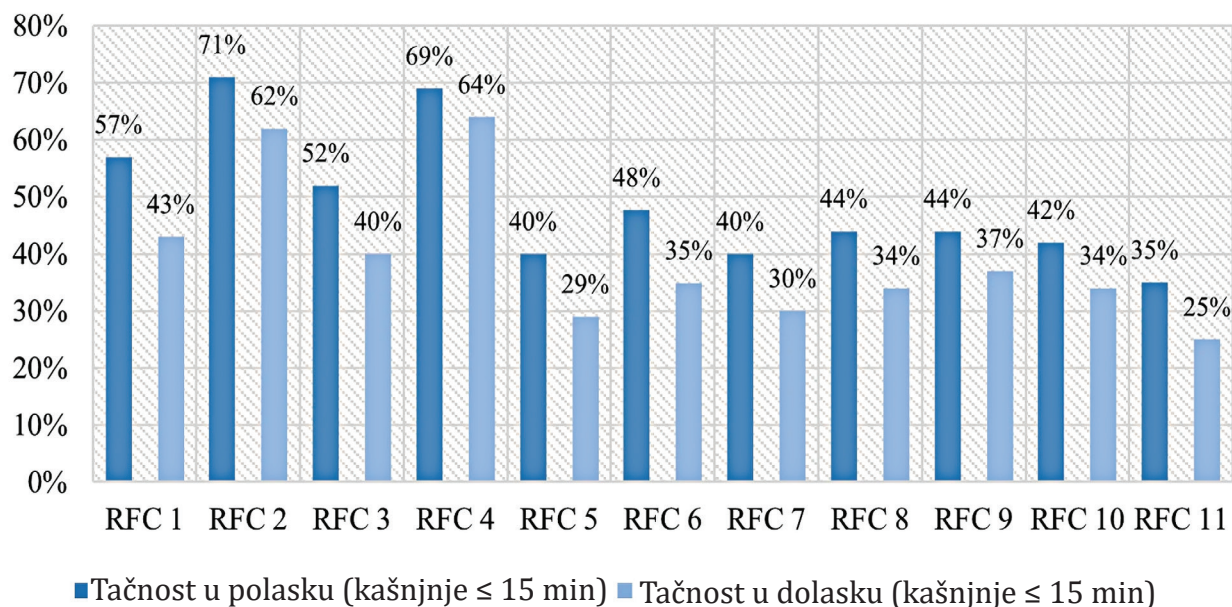
Koridor	PaPs	Dužina (km)	Broj graničnih prelaza	Prosečna brzina (km/h)
RFC 1	Maasvlakte - Milano Sm	1148	3	56.2
RFC1	Y.Schijn - Milano Sm	1092.9	3	51.1
RFC1	Karlsruhe Gbf - Gallarate	519.4	2	50.2
RFC 7	Bremerhaven - Kúty	1051.4	2	45
RFC 7	Kolín - Soroksári út rendező	560.3	2	39.5
RFC 10	Svilengrad - Jesenice	1338.5	3	32.7
RFC 7	Dresden - Dunajská Streda	618	2	30.6
RFC 10	Ljubljana Zalog - Svilengrad	1266.7	3	26.8
RFC 10	Ljubljana Zalog - Beograd Ranžirna	557.1	2	26.6
RFC 10	Salzburg Hbf - Svilengrad	1750.2	4	23.2

Slika 3 ilustruje tačnost polazaka i dolazaka u RFC-ovima za 2023. godinu. Samo RFC 2 i RFC 4 zabeležili su tačnost dolazaka iznad 50% u okviru praga kašnjenja od 15 minuta, dok je većina ostalih koridora ostala na ili ispod 30%. Značajan deo kašnjenja nastaje već na polasku, najčešće usled problema unutar železničkih prevoznika, kašnjenje u dostupnosti lokomotiva i vagona, kao i zastoje povezane sa terminalnim operacijama. Ovi početni poremećaji često se prenose duž cele trase voza, dodatno narušavajući tačnost vozova

i povećavajući operativne troškove kako za same prevoznike, tako i za šire tržište prevoza tereta. U studiji transportnog tržišta Rajnsko-Alpskog koridora, 41% anketiranih zainteresovanih strana, uključujući logističke operatere i špeditere, identifikovalo je lošu tačnost kao primarni faktor koji obeshrabruje korišćenje usluga železničkog prevoza tereta [13]. Jedan od ključnih osnovnih uzroka loše tačnosti je prekomerno vreme zadržavanja na graničnim prelazima. Uprkos svom operativnom značaju, ovaj aspekt se i dalje ne-

dovoljno prati. U stvari, većina upravnih odbora RFC-a ne prati sistematski kašnjenja na granica-

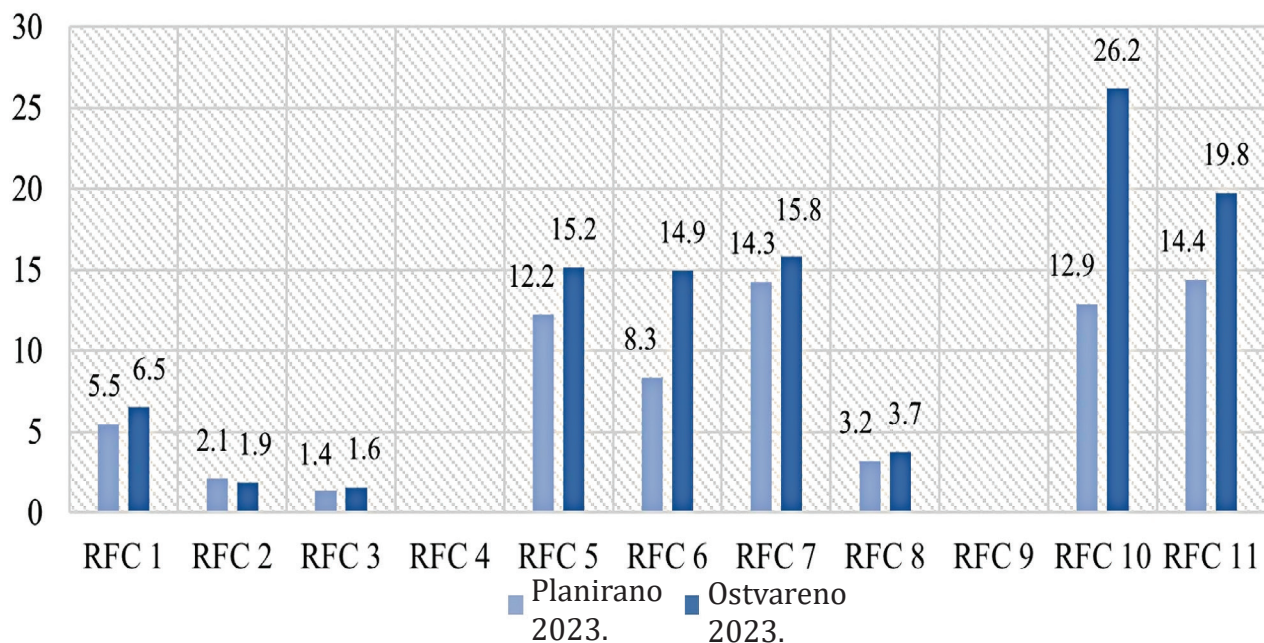
ma, iako član 18 Uredbe 913/2010 eksplicitno nalaže takvo praćenje.



Slika 3. Tačnost u polaznoj i odredišnoj stanici sa pragom kašnjenja od 15 minuta za 2023. godinu, razvijeno od strane autora na osnovu podataka iz [9]

Slika 4 prikazuje planirano u odnosu na stvarno vreme zadržavanja za 2023. godinu, gde podatci

otkrivaju značajna odstupanja između očekivanih i stvarnih vrednosti za nekoliko RFC-ova.



Slika 4. Planirano naspram stvarnog vremena zadržavanja na graničnim prelazima za 2023. godinu, razvijeno od strane autora na osnovu podataka iz [9]

Koridori kao što su RFC 1, RFC 2, RFC 3 i RFC 8 prijavljuju najkraća vremena zadržavanja, obično ispod pet sati. Ovi koridori povezuju države članice EU, koje su takođe deo Šengenskog prostora, kao što su Nemačka, Holandija, Belgija, Danska i Francuska, gde nema duplih procedura granične kontrole i gde su administrativni procesi harmonizovani i digitalizovani.

U 2023. godini, najduža i najnekonzistentnija vremena zadržavanja na granicama zabeležena su na RFC 10 i RFC 11, sa prosečnim vrednostima koje prelaze 26, odnosno 19 sati, što je znatno iznad planiranih vrednosti, tako i nivoa zabeleženih na drugim koridorima. Na RFC 10, ova kašnjenja uglavnom su posledica tranzita kroz zemlje van EU i van Šengenskog prostora, kao što su Srbija i Bugarska, gde su neophodne složene granične procedure i tehničke inspekcije. Faktori koji doprinose tome uključuju lošu koordinaciju između železničkih uprava u okviru tradicionalnog modela primopredaje vuče, što dovodi do kašnjenja kada lokomotive ili posade nisu dostupne na graničnim prelazima [10].

Teretni vozovi takođe se često planiraju tokom noćnih sati, što se poklapa sa vremenskim okvirima za održavanje infrastrukture, što povećava izloženost privremenim zatvaranjima i ograničenjima kapaciteta. U zagušenim železničkim čvorovima, posebno u urbanim područjima, konflikti sa visokofrekventnim putničkim saobraćajem dodatno ograničavaju fleksibilnost reda vožnje za teretni saobraćaj, povećavajući rizik od kaskadnih kašnjenja [14].

Ove operativne izazove pogoršava nedostatak harmonizovanih pravila o prioritetizaciji saobraćaja širom EU i trećih zemalja. Iako je Uredba 913/2010 nastojala da garantuje kapacitet i nesmetan saobraćaj međunarodnih teretnih vozova, u praksi takvi vozovi često nemaju formalno utvrđen prioritet u upravljanju saobraćajem. Odredbe koje im daju prednost u odnosu na vozove u unutrašnjem saobraćaju postoje u nekim državama, ali ne postoji definicija njihovog statusa na nivou EU. Odgovornost za prioritetizaciju ostaje na upravljačima infrastrukture, što rezultira značajnim regulatornim nedoslednostima širom Evrope [15].

3 ZAKLJUČAK

Preko jedne decenije od svog uspostavljanja, RFC-ovi ostaju centralni element strategije EU za unapređenje konkurentnosti i interoperabilnosti međunarodnog železničkog teretnog transporta. Međutim, analiza učinka pokazuje da ostvareni rezultati i dalje nisu ispunili očekivanja. Iskorišćenost proizvoda koji se odnose na infrastrukturni kapacitet, poput PaPs-ova i rezervnog kapaciteta, ostaje niska na većini koridora, pri čemu malo njih prelazi 50%, dok istovremeno postoje razlike u broju vozova, planiranim brzinama, vremenima zadržavanja i tačnosti vozova unutar RFC mreže. Tokom 2023. godine, 44 od 64 praćena granična prelaza zabeležila su pad u broju vozova, pri čemu su najizraženija smanjenja uočena u jugoistočnoj Evropi.

Nemačka i dalje ima ulogu ključnog čvorišta evropske mreže železničkog teretnog transporta, gde se koncentrišu tokovi iz glavnih severnoevropskih luka, poput Roterdama, Amsterdama i Antverpena, pre nego što se preraspodele širom kontinenta i u susedne zemlje. Nasuprot tome, koridori koji prolaze kroz države van Šengenskog prostora ili van EU, kao što je RFC 10, suočavaju se sa produženim vremenima zadržavanja na granicama, tehničkim ograničenjima i odsustvom harmonizovanih pravila za određivanje prioriteta vozova, što narušava njihovu konkurentnost u odnosu na drumski transport.

Iako je regulatorni i institucionalni okvir uspostavljen pre više od jedne decenije, RFC sistem još uvek nije ostvario odlučujuće poboljšanje učinka, niti do značajnog preusmeravanja tereta sa drugih vidova na železnicu. Prevazilaženje ovih nedostataka zahteva veću fleksibilnost i tržišno prilagođavanje proizvoda koji se odnose na kapacitet koridora, efikasnije funkcionisanje C-OSS sistema, robusnije praćenje učinka i usvajanje zajedničkih pravila za određivanje prioriteta saobraćaja vozova i granične procedure. Bez takvih reformi, mreža ovih koridora ostaće ograničena u svojoj sposobnosti da funkcioniše kao potpuno integrisan i konkurentan sistem teretnog transporta, usklađen sa ciljevima EU u pogledu održivosti i preusmeravanja tereta na železnicu.

LITERATURA

- [1] Dedík, M., Gašparík, J., Záhumenská, Z., Ľupták, V. i Hřebíček, Z. (2018). Proposal of the Measures to Increase the Competitiveness of Rail Freight Transport in the EU. *NAŠE MORE*, 65 (4 Special issue), 202-207. <https://doi.org/10.17818/NM/2018/4SI.7>
- [2] Finger, m., & Kupfer, D. (2018). Improving European rail freight., 2018(10). Florence School of Regulation, Transport.
- [3] Troche, G (2019). EU railway policy on international corridors for rail freight: Example of the Orient/East-Med Rail Freight Corridor No. 7, In: Scholl, Bernd Perić, Ana Niedermaier, Mathias (Ed.): Spatial and transport infrastructure development in Europe: Example of the Orient/East-Med Corridor, ISBN 978-3-88838-095-2.
- [4] Finger, M., Montero-Pascual, J. J., & Serafimova, T. (2021). The governance of rail freight corridors. European University Institute.
- [5] Djordjević, B., Ståhlberg, A., Krmac, E., Mane, A. S., & Kordnejad, B. (2024). Efficient use of European rail freight corridors: current status and potential enablers. *Transportation Planning and Technology*, 47(1), 62-88. <https://doi.org/10.1080/03081060.2023.2294344>
- [6] Abramović, B., Majstrovic, M., Mašek, J., & Šipuš, D. (2024). Railway Freight Corridors in the European Union. *Transportation research procedia*, 77, 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.01.014>
- [7] RFC Rhine-Danube News, <https://rfc-rhine-danube.eu/2025/04/01/major-parts-of-rfc-orient-east-med-integrated-into-rfc-rhine-danube/>, last accessed 2025/06/07.
- [8] Rail Net Europe, (2023). Key Performance Indicators of Rail Freight Corridors - Version 5.0. Rail Net Europe. Vienna.
- [9] RFC KPIs, <https://rne.eu/corridor-management/rfc-kpis/>, last accessed 2025/05/22.
- [10] European Commission (2023). Support study to the impact assessment on measures to better manage and coordinate cross-border rail traffic, including through revised rules for capacity allocation and infrastructure charging in rail. Directorate-General for Mobility and Transport.
- [11] RFC ScanMed (2024). Transport Market Study of the ScanMed Rail Freight Corridor – 2024 Update. Available on the link <https://scan-medfreight.eu/Final%20ETMS%20Report.pdf>, last accessed 2025/05/22.
- [12] RFC Mediterranean News, <https://www.medrfc.eu/news-page/landslide-in-the-maurienne-valley/>, last accessed 2025/06/07.

MANFRED VOHLA*, ANDREAS SCHÖBEL

HIBRIDNI SISTEMI VUČE ZA ŽELEZNICU CILERTAL U AUSTRIJI

HYBRID TRACTION SYSTEMS FOR THE ZILLERTAL RAILWAY IN AUSTRIA

UDK: 656.2+629.4

REZIME:

Na mnogim sporednim prugama, pa čak i na nekim glavnim železničkim prugama, i dalje se obavlja dizel vuča. Čim su se dizel motori približili kraju svog životnog veka, postavilo se pitanje o alternativnim pogonskim sistemima. To se dogodilo 2017. godine na uskološečnoj pruzi od Jenbaha do Majrhofena u Tirolu, u Austriji. Pokušaj uvođenja vozova na vodonični pogon propao je 2023. godine. Sledeće istraživanje o najprikladnijem dekarbonizovanom snabdevanju energijom za vuču i pomoćnu upotrebu još jednom je pokazalo da samo zajednička i sinhrona optimizacija vozila, infrastrukture i rada vodi do globalnog optimuma. Različiti scenariji su upoređeni i ocenjeni na osnovu tehničkih, komercijalnih i vremenskih faktora. Realizacija električne železnice sa kontaktnom mrežom može izazvati lokalni otpor. Pokazaćemo kako je to rešeno u konkretnom slučaju. Plan mobilnosti sa 18% manje vremena putovanja biće ispunjen na osnovu simulacionog proračuna, a rezultate su već razmotrile lokalne vlasti.

Ključne reči: baterijski hibridni vozovi, elektrifikacija, dizel vozovi

SUMMARY:

Many branch lines and even some main railway lines are still operated with diesel engines. As soon as these engines came close to their end of life, the question about alternative drive systems will come up. This happened in 2017 for the narrow gauge railway from Jenbach to Mayrhofen in Tyrol, Austria. The attempt to introduce hydrogen empowered trains failed in 2023. The following investigation about the best suitable decarbonized energy supply for traction and auxiliary usages taught once again that only the common and synchronous optimization of vehicle, infrastructure, and operation leads to a global optimum. The various scenarios are compared and rated for technical, commercial, and timeline factors. To realize an electric operated railway with a catenary may cause local resistance. We will show how it was solved in the specific case. The mobility plan with 18% less travel time will be fulfilled based on simulation calculation, the results have already been considered by the local authorities.

Keywords: Battery-hybrid-trains, Electrification, Diesel trains

* Manfred Vohla, 1TU Wien, FH Technikum Wien, Austria, manfred.vohla@aon.at

1. POČETNA SITUACIJA

Detaljno istraživanje različitih sistema vuče za železnicu u Cilertalu već je predstavljeno pre godinu dana [1]. Ovde ćemo dati kratak rezime i najnovija ažuriranja ovog tekućeg procesa dekarbonizacije ovih železničkih pruga kao studiju slučaja.

1.1. Period od 1860. do 2018. godine

Železnica do prelepog Cilertala u Tirolu, Austrija, bila je predmet rasprava od kasnih 1860-ih zbog zaista loših prevoznih sredstava. Nakon odluke austrijskog cara 1872. godine da izgradi standardnu kolosečnu glavnu prugu sa dva koloseka od Salzburga do Inzbruka „Gizelaban“ (da bi se zaobišla Bavarska) preko prevoja Hohfilcen i Kicbila, izbegavajući dugačak bazni tunel ispod prevoja Gerlos, Cilertal je ponovo izolovan od svetske mreže železnica.

Lokalne vlasti su iskoristile narednih dvadeset godina za diskusije i 1892. godine osnovale su „železnički komitet“ kako bi rešile problem transporta. Zbog hroničnog nedostatka sredstava, doneta je odluka da se izgradi uskokolosečna pruga po nacionalnom standardu koloseka od 760 mm, tzv. „bosanskom koloseku“, potpuno kompatibilnom sa svim ostalim uskokolosečnim prugama u Austrijskoj monarhiji. Ovo je bilo vođeno samo troškovima, jer topografija Cilertala nije zahtevala ni tunele ni uske krivine, a dva glavna mosta su bila projektovana za teške terete za prevoz teretnih vagona standardnog koloseka.

Koncesija je odobrena 2. decembra 1899. godine, građevinski radovi su počeli 1900. godine, a 31. jula 1902. godine pruga je konačno otvorena (31,7 km, jednokolosečna). Vuču su obavljale razne parne lokomotive. Godine 1967, Cilertalban je kupio prvi putnički voz na dizel motor koji se sastojao od dva električna tramvajska vagona od 750 V jednosmerne struje iz 1954. godine, nemačkog tipa ET195.

Godine 1967, ova kompozicija je stigla u Cilertal i preuređena je na kolosek od 760 mm. Bio je to prvi putnički voz na električni pogon. Bio je u upotrebi

do 1997. godine (videti sliku 1).



Slika 1. Prvi električni voz u Cilertalu, pokretan dizel generatorskim vagonom 1967 © 1980 wikipedi-ja, prvobitno je saobraćao u Ravensburgu. Nakon obustave rada tamo, došao je u RTM (Roterdamski tramvajski voz Maatšapij), gde je dodat srednji dizel generatorski vagon da bi radio bez kontaktne mreže. Širina koloseka je promenjena sa 1000 mm na 1067 mm.



Slika 2. Cilertalov voz sa tri vagona, pokretan dizel lokomotivom © MfV, 240315_1243

Početkom 1980-ih, Cilertalban je počeo da kupuje nove dizel-električne vagona. 7 vagona, 2 vagona sa kabinom i 5 putničkih vagona pušteno je u rad do 1998. godine. Vidi sl. 2.

Od 2004. do 2009. godine naručene su 4 nove dizel-hidraulične lokomotive, 5 putničkih vagona i 3 vagona sa kabinom, a još jedan vagon iz salcburškog Pincgaubana stigao je 2013. godine. 2018. godine, bila je dostupna flota od 6 kompletnih dvotaktnih vozova, svi na dizel pogon. 2018. godi-

ne, najstariji vagon je imao 34 godine i zamena je postala hitna. Vidi sl. 3.



Slika 3. Cilertalov voz sa 3 vagona, pokretan dizel lokomotivom © MfV, 240315_1326

1.2. Period od 2018. do 2025. godine

Razmišljajući o potpunoj zameni zastarelog voznog parka, ideje za izbor vozova na dizel pogon više nisu bile zadovoljavajuće. Nove mogućnosti su počele da se otvaraju zahvaljujući raznim test motorima kao što su lokomotive i vagoni standardnog koloseka:

- pogoni na gorivne ćelije,
- pogoni na baterije,
- potpuno električni pogoni (konvencionalni).

Pri čemu je ova uobičajena reč „pogoni“ malo netačna, sva tri tipa imaju električne pogonske motore. Razlika je u tome odakle dolazi električna energija.

U prvom i drugom slučaju, električna energija se skladišti unutar voza, bilo u obliku tečnog vodonika (350 ili 700 bara) ili u obliku baterija (približno 9 metričkih tona za jednu vožnju u jednom smeru) ili u trećem slučaju izgradnjom kontaktne mreže duge 31,7 km (približno 45 km ukupne dužine kontaktne mreže i nekoliko trafo stanica).

Plan je da se Cilertal promoviše kao region inovacija korišćenjem jeftine električne energije tokom noćnih sati u Majrhofenu, kraju pruge. Dakle, odluka je doneta u korist korišćenja vodonika, lokalno proizvedenog zelenom elektrolizom tokom noći. Izvesna prekomerna proizvodnja vodonika trebalo bi da

se koristi i za autobuse na vodonik i ratare.

Ovo je bila pametna odluka s obzirom na znanje iz 2018. godine.

Ali ništa se nije dogodilo. Ugovori su pripremljeni, ali vozovi konačno nisu naručeni, elektrolizeri nisu izgrađeni. Stajati mirno. Ali stanovništvo i lokalni gradonačelnici su bili osetljivi da novoj pruži Cilertalban neće biti potrebna kontaktna mreža, jer bi uništila prelep pejzaž. Važno je znati ovu kontradikciju, jer se tvrdilo da je kontaktna mreža nemoguća u budućnosti. Početkom leta 2023. godine, političke stranke u opoziciji prema lokalnoj vlasti tvrdile su da će vozovi na gorivne ćelije prouzrokovati mnogo veće operativne troškove (zbog loše efikasnosti) proračunate tokom narednih 30 godina. Takođe, ideja sa ratarima je testiranjima odobrena kao neprimenljiva, jer prilično osetljive gorivne ćelije ne vole bočna kretanja i nagibe u planinama. Takođe, tehnologija autobusa je postigla veliki napredak, a probne vožnje između Majrhofena (633 m nadmorske visine) i Hintertuksa (1501 m) dovele su do odluke da se naruče ekološki prihvatljivi autobusi na baterije, koji rade „bolje nego što se očekivalo“ i postali su – nakon nekih dečjih bolesti u sistemu grejanja – veoma zadovoljavajući.

Konačno, lokalna samouprava je 2023. godine naručila novu studiju za dekarbonizaciju Cilertalbana, koju je realizovao Tehnički univerzitet u Beču [2].

Ovaj dugačak uvod je neophodan da bi se razumelo zašto ovaj „jednostavan“ projekat dekarbonizacije postaje toliko komplikovan i zašto je potrebno toliko diskusija. Nažalost, dug period diskusija uzrokuje izuzetno visoke dodatne troškove za održavanje postojećeg voznog parka u funkciji.

2 REZULTATI POREĐENJA RAZLIČITIH SISTEMA NAPAJANJA

U 2023. i 2024. godini, kada je sačinjena studija Tehničkog univerziteta u Beču [2], tehnologija je napredovala i ÖBB (Österreichische Bundesbahnen) [3] i železnička industrija prikupila je mnogo iskustva sa test vozilima.

2.1 Scenariji

Istraženo je šest scenarija, mnogo više nego 2018. godine, i svi koriste elektromehaničke pogone sa asinhronim motorima i invertorima [2]:

- Sc. 0: Dizel-električna motorna lokomotiva (DEMU) – za referencu,
- Sc. 1: Električna motorna lokomotiva (EMU) – zahteva kontaktnu mrežu na celoj deonici,
- Sc. 2: Vodonična električna motorna lokomotiva (HEMU) – originalni predlog,
- Sc. 3: Baterijska električna motorna lokomotiva (BEMU) – sa punjenjem na kraju linije,
- Sc. 4: BEMU-hibrid (BEMU-hi) – zahteva delove nadzemne kontaktne mreže,
- Sc. 5: BEMU-optimizovano (BEMU-hi-opt) – baterije višeg nivoa i razni kratki delovi kontaktne mreže (a takođe i skup podscenarija).

Konfiguracija voza je normalizovana kako bi se različiti koncepti mogli uporediti.

Elektromotorni pogonski sistemi sa rotirajućim (asinhronim) motorima su nesumnjivo najbolji tehnički izbor. Nije tako jasan odgovor, gde će se električna energija generisati: u vozilu ili stacionarno pored pruge. Vozilo ili infrastruktura? Skladištenje i proizvodnja u vozilu zahtevaju ili baterijske pakete ili rezervoare vodonika i paket gorivnih ćelija unutar voza. Stacionarno napajanje zahteva prenos energije do voza putem lokalne nadzemne kontaktne mreže ili njihove kombinacije. Glavne tehničke razlike su ukupna masa voza, broj preostalih sedišta (što znači: kapacitet), možda stope ubrzanja, gubitak vremena za punjenje ili uzimanje goriva, ali i ukupni troškovi, vreme do dostupnosti i troškovi prilagođene infrastrukture. Tabela 1 daje pregled glavnih parametara.

Tabela 1. Glavni parametri izračunatih slučajeva [1, 2]

	DEMU	EMU	HEMU	BEMU	BEMU-hy	BEMU-hy-opt
Broj kola	4	3/4	4	3/4	3/4	3/4
Dužina voza [m]	68,5	3: 57,8 4: 76,4	76,4	3: 56 4: 75,5	3: 56 4: 75,5	3: 56 4: 75,5
Broj putnika [sedišta]	323	3: 303 4: 413	373	3: 278 4: 392	3: 278 4: 392	3: 278 4: 392
Ukupna masa voza sa teretom [t]	151.4	118.4	164	121.2	122.2	120.3
Vučna težina (adhezija) [t]	58.0	88.0	90.4	86.0	87.0	85.1
Maksimalna brzina u eksploataciji [km/h]	80	100	100	100	100	100
Vučna snaga na točku [kW]	500	1400	1400	1400	1400	1400
Kapacitet baterije [kWh]	-	-	310	650	325	264
Maksimalno usporenje [m/s^2]	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Maksimalno ubrzanje [m/s^2]	0.65	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Dugoročno gledano, dvostruka vuča deset voznih jedinica sa tri vagona u špicu, kada je to potrebno, mnogo je efikasnija u poređenju sa šest voznih jedinica sa četiri vagona (prvobitno samo pet), čak i ako se glavni peroni moraju produžiti sa 80 m na 120 m. Ovo nije samo mnogo fleksibilnije u radu, već je i otpornije na sudar na jednom od preko 60 pružnih prelaza ili druge nesreće. Ovih deset vo-

znih jedinica sa tri vagona mogu se naručiti u dve serije, i to u prvom šest garnitura, a kasnije četiri garniture.

Predložena električna oprema duž pruga biće spremna da napaja voz sa dvostrukom vučom na svakoj deonici za svaki smer pri punom ubrzanju, istovremeno zadovoljava potrebe u špicu.

2.2 Procene i rangiranje

Dinamika vožnje različitih koncepata vozova i njihovi pozitivni rezultati u simulacionim proračunima osnovni su zahtevi za prihvatanje.

Vremenski raspored je obavezan kriterijum. Vozovi moraju imati ubrzanje i kočenje od 1,0 m/s² da bi ispunili zahteve za vreme rada od 45 minuta od početka do kraja (danas 55 minuta) [4]. Potrošnja energije vuče povezana je sa kasnijim troškovima rada, pri čemu se uzimaju u obzir samo različiti troškovi u odnosu na različite scenarije uopšte, ali nikada ukupni troškovi. Dakle, uzimaju se u obzir samo različiti sistemi snabdevanja energijom i njihovi različiti stepen efikasnosti, ali ne i troškovi za mašinovođu, konvencionalno održavanje ili čišćenje. Oni su nezavisni od različitih koncepata vozova. Glavni kriterijumi na koje se fokusiralo na osnovu [5] i [6], kao i [7-9] bili su:

- troškovi voznog parka,
- troškovi održavanja voznog parka,
- troškovi infrastrukture,
- troškovi održavanja infrastrukture,
- troškovi planiranog rada.

Ovi troškovi planiranog rada podeljeni su u četiri glavne grupe [2] [5] [8, 9]:

- troškovi osnovne energije,

- poseban porez na emisiju CO₂ (ili ekvivalentne mere),
- troškovi planirane, periodične zamene konceptualno specifičnih komponenti (npr. baterije za vuču, vodonične gorivne ćelije itd.),
- troškovi premije rizika (od strane dobavljača)

Troškovi za energiju za vuču, kao i specifične pomoćne komponente sistema vuče su navedeni u prvoj tački. Oni su najvažniji i najčešće ponavljani faktor zbog 30 godina rada i utiču na troškove po voznom kilometru. Oni su ključni za marginalne troškove železničkih usluga u vremenima male potražnje.

- Tri glavna kriterijuma za procenu definisana po opadajućem značaju [2] su:
- različiti troškovi redovnog rada [evra/voznom kilometru],
- različiti ukupni troškovi (u evrima/voznom kilometru),
- različiti ukupni troškovi (u evrima-centima/se-dište kilometru).

Treći kriterijum razmatra različite potrebe za prostorom za dodatnu energetska opremu unutar karoserije vagona. Pretpostavljeni i korišćeni parametri ovog modela upoređivanja proračuna analizirani su analizom osetljivosti, videti Tabelu 2.

Tabela 2. Modifikacije i trendovi različitih troškova kao rezultat analize osetljivosti za kriterijume za procenu 1 [2]

	DEMU	EMU	HEMU	BEMU	BEMU-hy	BEMU-hy-opt
Referentna tačka (osnovni proračun)	2,49	1,09	6,94	1,88	1,43	1,30
Investicija u kontaktnu mrežu (cena samo 50%)	2,49	1,09	6,94	1,88	1,43	1,30
Primarna energija (cena 200%)	2,49	2,17	11,49	3,26	2,70	2,47
Dvostruka vuča u špicu	2,50	1,09	7,09	2,21	1,55	1,41
Interval od 15 minuta (umesto intervala od 30 minuta)	2,50	1,09	6,32	1,96	1,47	1,34
Niska cena H ₂ (poseban ugovor)	2,49	1,09	3,78	1,88	1,43	1,30
Pogled od pre 60 godina (2. generacija vozova)	2,50	1,09	6,94	1,88	1,43	1,30
Prosek	2.49	1.17	7.07	2.13	1.64	1.49
	214%	100%	606%	183%	140%	128%

Tabela 2 prikazuje jasno najbolji scenario uzimajući u obzir današnji i budućii red vožnje, uzimajući u obzir prvi glavni kriterijum, različite operativne

troškove po voznom kilometru [2, str. 87]:

1. EMU,
2. BEMU-hi-opt,

3. BEMU-hi,
4. BEMU,
5. DMU,
6. HEMU.

Po drugom i trećem kriterijumu, redosled se može neznatno da se promeni zbog većih investicionih troškova za kontaktnu mrežu. Ali u analizi osetljivosti, slično kao što je prikazano u Tabeli 1, postaje jasno da bilo kakva dodatna usluga u poređenju sa današnjim redom vožnje znači intenzivnije korišćenje infrastrukture koje će podržati ovaj rang.

Pošto kontinuirana kontaktna mreža više nije bila primenljiva iz političkih razloga (poglavlje 1.1), šansa za 2018. godinu je nestala (znanje je bilo dostupno od 2014. [4]), drugo najbolje i danas najbolje rešenje BEMU-hi-opt detaljno je istraženo u drugoj studiji [10].

3. IZAZOVI KONTINUIRANE KONTAKTNE MREŽE

Na osnovu [2] i izabranog koncepta BEMU-hy-opt, bilo je potrebno detaljnije istraživanje, koje je sprovedla građevinska firma Actes Bernard [10]. Specifikacija je imala dve faze, a glavni rezultati iz [2] su nezavisno potvrđeni.

Prvobitno, elektroenergetski sistem nije bio konačno definisan. Četiri najverovatnija i najstandardizovanija sistema bila su:

- 1.500 V DC,
- 15 kV 16,7 Hz AC,
- 15 kV 50 Hz AC,
- 25 kV 50 Hz AC.

Tokom istraživanja, eliminisani su sistemi 15 kV 16,7 Hz i 25 kV 50 Hz, jer nisu imali ozbiljne razlike u poređenju sa druga dva AC sistema u pogledu infrastrukture. Izolaciona rastojanja ostaju nepromenjena prema međunarodnim standardima. Za vozila, 50 Hz je bolje od 16,7 Hz (lakši transformatori) i jednosmerna struja je bolja od naizmjenične (bez transformatora), ali samo da bi

se podržala sinergija sa drugim uskokolosečnim železnicama u Salzburgu, Štajerskoj i Donjoj Austriji, jednosmerna struja je kasnije odbačena. Stoga, glavni sistem istraživanja ostaje 15 kV 50 Hz naizmjenične struje.

3.1 Faza 1 – tehnička izvodljivost

U Fazi 1, cela linija od 31,7 km je podeljena na deonice dužine 200 m. Svaka deonica je ispitana da bi se ispunilo 6 kategorija:

- 0. Izvodljivo (bez ikakvih ograničenja),
- 1. Izvodljivo (prelazak preko strane infrastrukture (kablovi, gasovodi), vegetacije, zahteva veću pažnju u planiranju, ali bez značajnih ograničenja ili troškova u realizaciji),
- 2. Izvodljivo (neka ograničenja, zahteva dodatna ulaganja ili odobrenja, može zahtevati prilagođavanje strane infrastrukture,
- 3. Tehnički izvodljivo, neke neizvesnosti, može prouzrokovati kašnjenje ili značajne dodatne troškove,
- 4. Tehnički izvodljivo, veliki napor ili izuzetno visoki troškovi i kašnjenje,
- 5. Nije izvodljivo.

Da bi se proverila pruga, urađeno je detaljno istraživanje na lokalnim mapama, rutama pruge dobavljača infrastrukture i foto dokumentovana vožnja voza (oko mašinovođe) u oba smera. Rezultat je bio zadovoljavajući:

0	24%	2,	11%	4	0%
1	62%	3	3%	5	0%

86% pruge može da nosi kontaktnu mrežu bez ikakvih problema, 97% uz dodatni napor u planiranju i odobravanju. Samo 3% ili tačno 4 lokacije zahtevaju dodatno održavanje. Oni su:

- Podvožnjak državnog autoputa A12 dužine 40 m na km 1+400 ograničene je visine, posebno za prevoz teretnih vagona standardnog koloseka na uskokolosečnu prugu. Spuštanje pruge nije moguće, jer se pored podvožnjaka nalazi most preko reke In. Promena profila slobodnog hoda za teretne vagone sa tipa G2 (4650 mm) na tip G1 (4280 mm) pomaže. Vidi sliku 4.



Slika 4. Podvožnjak državnog autoputa A12 na km 1+400 © MfV, 240315_1338

- Podvožnjak dužine 13 m na glavnom putu B169 u Cilertalu u km 2+800, veoma je blizu severnog portala tunela Bretfal dugog 1336 m. Pruga se može spustiti za približno 0,5 m. Vidi sliku 5.



Slika 5. Podvožnjak B169 u km 2+800 © MfV, 240315_1336

Podvožnjak visokonaponskih vodova 220 kV kompanije APG (Austrijska elektroenergetska mreža) između km 30+600 i 30+800, gde najveća visina pod najgorim uslovima nije dovoljna da ispuni zahteve za izolaciju od kontaktne mreže od 15 kV. Ovde se kontaktna mreža može ogoliti, ali mora biti uzemljena.

Podvožnjak visokonaponskog voda 110 kV kompanije APG između km 30+800 i km 31+000. Izve-

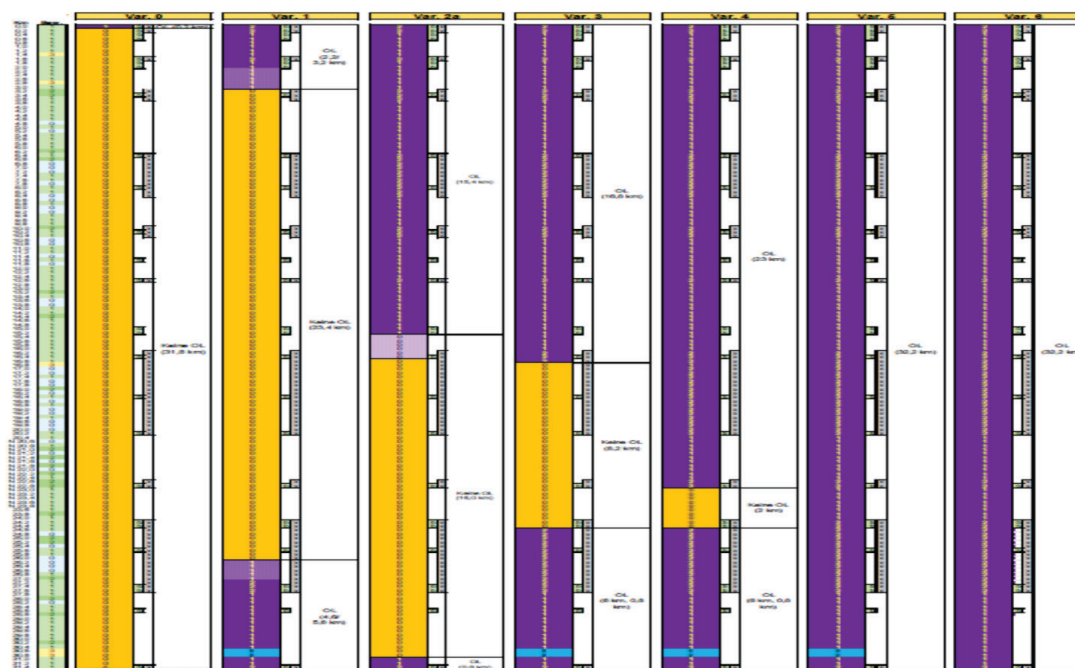
dena Rešenja mogu da se vide gore na slikama 5. i 6.

Konačno, postoji jasan rezultat: cela linija može biti elektrifikovana konvencionalnom kontaktnom mrežom. Da bi se rešio problem politički motivisanog mišljenja protiv ružnih stubova kontaktne mreže (postoje neki zaista loši primeri u Tirolu koje je izgradila ÖBB infrastruktura, tako da je nezadovoljstvo razumljivo), prvo su započeta istraživanja kako bi se minimizirala visina stubova i koristili lokalni materijali umesto betonskih stubova. Ovo je tekući inovativni proces i još nije završen.

3.2 Faza 2 – predložene deonice

U Fazi 2, studija [10] istražuje najbolje lokacije za deonicu kontaktne mreže, prateći predlog studije [2] koristeći vozove sa hibridnim baterijama. Optimizovana verzija zahteva približno 50% kontaktne mreže kao optimalnu veličinu baterije, ponašanje ubrzanja i minimalnu dodatnu masu i troškove za baterije i kontaktnu mrežu.

Optimizovana verzija zahteva približno 50% kontaktne mreže na slobodnoj liniji kao optimalnu veličinu baterije, ponašanje pri ubrzanju (brzina praznjenja baterija tokom ubrzanja u najgorim uslovima) i minimalnu dodatnu masu i troškove za baterije i kontaktnu mrežu. Ispitivano je sedam scenarija (videti Sl. 6), od punjenja samo preko kontaktne mreže u terminalnim stanicama u mirovanju (Var. 0) do pune kontaktne mreže (Var. 6). Var. 0 predstavlja BEMU, a Var. 6 EMU radi poređenja. Različite varijante nisu predmet ovog rada; Sl. 6 samo će dokumentovati vrstu pristupa. Najbolja je Verzija 2a, koja, takođe, ima samo dve deonice. Prva deonica veoma je kratka i njena dužina iznosi samo 0,8 km u Majerhofenu, pri čemu se izbegavaju podvožnjaci visokonaponskih linija. Druga deonica je dužine 16,5 kilometara ona se nalazi u blizini grada Jenbaha.



Slika 6. Varijante deonice kontaktne mreže od Varijante 0 do Varijante 6, ljubičasta = kontaktna mreža, žuta = baterija, Jenbah na vrhu, Majrhofen na dnu, svetlo ljubičasta = samo za 1,5 kV DC, siva = dvokolosečna deonica. Predložena Varijanta 2a je treća kolona s leva [7]

4 STVARNO STANJE I IZGLED

Glavna istraživanja za dekarbonizaciju austrijske CilertalBahn pruge završena su, tehnička izvodljivost je odobrena i prihvaćen koncept sa 50% kontaktnom mrežom od 15 kV 50 Hz AC i baterijsko-hibridnim voznim garniturama. Glavni parametri vozova su specificirani, kontaktna mreža je izvodljiva duž cele linije, a podstanice za napajanje su definisane. Troškovi investicija za vozila i za kontaktnu mrežu i podstanice odobreni su. Vozovi imaju duže vreme isporuke od kontaktne mreže, tako da su njihova specifikacija i tender hitni kao sledeći korak. Kontaktna mreža biće detaljno isplanirana nakon naručivanja voza.

LITERATURA

- [1] Vohla M., Schöbel A., Rüger B.: Analysis of Different Traction Systems For The ZillertalBahn, Proceedings of CETRA Conference 15.-17.05.2024., 75-81, (2024) <https://doi.org/10.5592/CO/CETRA.2024.1621>.
- [2] Vohla, M., Emberger, G., Rüger, B.: Bewertung unterschiedlicher Konzepte zur Dekarbonisierung der ZillertalBahn in Tirol, Wien, Vienna University of Technology, 03/2024.
- [3] Tisch, H., Gerstenmayer, T.: Hybrid Rail Systems, ÖBB, FHTW, 18.09.2023.
- [4] Schöbel, A., Schreiner, H., Baltram, S.: Design of Railway Infrastructure with OpenTrack in Austria, 7th International Conference on Road and Rail Infrastructure CETRA 2022, Pula, Croatia, 11-13 May 2022.
- [5] Rippert, J., Vohla M.: Konzepte für emissionsfreien Personenverkehr auf nicht elektrifizierten Zahnradbahnen, Masterarbeit, Wien, FHTW, 21.5.2003.
- [6] Vohla M., Rippert J.: Konzepte für emissionsfreien Personenverkehr auf nicht elektrifizierten Zahnradbahnen, Presentation, Wien, St. Pölten, 12.07.2023.
- [7] S. Jesper, Bewertung alternativer Antriebskonzepte für Schienenfahrzeuge des Personennahverkehrs bei Einsatz auf nicht- oder teilweise elektrifizierten Strecken in Österreich, Masterarbeit, Wien, FHTW, 15.09.2021
- [8] M. Spreitzer, Erarbeitung eines Nachhaltigkeitskonzeptes durch Dekarbonisierung aktueller

Bestandsfahrzeuge unter Berücksichtigung bestehender Infrastruktur in Norwegen, Masterarbeit, Wien FHTW, 19.09.2022.

- [9] M. Vohla und M. Spreitzer, Erarbeitung eines Nachhaltigkeitskonzeptes durch Dekarbonisierung aktueller Bestandsfahrzeuge unter Berücksichtigung bestehender Infrastruktur in Norwegen (Vortrag ÖVG), Wien: FHTW, 20.12.22 / 26.01.2023
- [10] Jorthan S., Forthuber, S., e.a.: Variantenprüfung für Lade- und Versorgungseinrichtungen der Zillertalbahn, Studie für das Land Tirol, Actes Bernard Gruppe, Wien, 05. 05. 2025.

STRUČNI RAD

JASMINA STANIŠIĆ*, NIKOLA RISTIĆ, DRAGAN ĐORĐEVIĆ

PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE ZA PREMEŠTANJE TRASE ŽELEZNIČKE PRUGE: STUDIJA SLUČAJA JAGODINE

APPLICATION OF MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR RAIL ALIGNMENT RELOCATION: A CASE STUDY OF JAGODINA

UDK: 625.1/.5 + 519.8 + 656.2

REZIME:

Proces planiranja i projektovanja trase železnice u infrastrukturnim projektima često je složen i pod uticajem brojnih, ponekad suprotstavljenih, faktora. Kao deo idejnog projekta (IDP) modernizacije pruge Beograd–Niš, predviđene za brzine do 200 km/h, početna trasa je projektovana da ostane unutar postojećeg koridora, a stanice zadržavaju svoju postojeću lokaciju. Međutim, nakon zabrinutosti koju je izrazila grupa lokalnih građana u vezi sa trasom koja prolazi kroz grad, dodatno je analizirana mogućnost premeštanja železničke trase i stanice na području Jagodine. Da bi se osigurao uravnotežen i metodološki utemeljen proces donošenja odluka, u definisanje i ponderisanje kriterijuma za ocenu razmatranih opcija uključeni su i stavovi relevantnih zainteresovanih strana. Glavni cilj bio je da se identifikuje optimalna trasa i lokacija stanice koja integriše tehničku i tehnološku izvodljivost, ekonomsku isplativost, kao i ekološke i društvene aspekte. Tri alternativne varijante, zajedno sa rešenjem iz Idejnog projekta (IDP varijanta), ocenjene su korišćenjem metoda višekriterijumske analize (VKA), PROMETHEE i TOPSIS, uz sprovođenje prateće analize osetljivosti radi testiranja stabilnosti dobijenih rezultata. Ovaj pristup pokazuje praktičnu vrednost alata VKA u donošenju složenih planskih odluka i ističe važnost ranog angažovanja zainteresovanih strana.

Ključne reči: višekriterijumska analiza, trasa železničke pruge, idejni projekat

SUMMARY:

The process of rail alignment planning and design in infrastructure projects is often complex and influenced by numerous, sometimes conflicting, factors. As part of the preliminary design (PD) for the Belgrade–Niš railway modernization project, intended for speeds up to 200 km/h, the initial alignment was designed to remain within the existing corridor, with the station retaining its current location. However, following concerns raised by a group of local citizens regarding the alignment passing through the city, the possibility of relocating the railway alignment and station in the Jagodina area was additionally analysed. To ensure a balanced and informed decision-making process, stakeholder input was included in the definition and weighting of criteria used to evaluate the options. The main objective was to identify the optimal alignment and station location that integrates technical and technological feasibility, economic viability, and environmental and social considerations. Three alternative variants, along with the PD solution, were assessed using Multi-Criteria Analysis (MCA) methods, PROMETHEE and TOPSIS, with accompanying sensitivity analysis to test the robustness of outcomes. This case demonstrates the practical value of MCA tools in navigating complex planning decisions and highlights the importance of early engagement with affected communities.

Keywords: Multi-Criteria Analysis, Rail alignment, Preliminary design.

*Jasmina Stanišić, Egis d.o.o. Beograd, Resavska 31, 11000 Beograd, Srbija, jasmina.stanisis@egis-group.com

1. UVOD

Modernizacija železničke pruge Beograd–Niš predstavlja jedan od najznačajnijih infrastrukturnih projekata u Srbiji, usmeren na omogućavanje saobraćaja vozova velikih brzina do 200 km/h. Iako je Prostorni plan iz 2020. godine prvobitno predvideo unapređenje za brzine do 160 km/h na deonici Velika Plana–Niš [1], strateška odluka o unapređenju celog koridora za brzine do 200 km/h zahtevala je izmene prostornog plana i obimniju rekonstrukciju, uključujući izgradnju drugog koloseka, korekcije trasiranja krivina i preprojektovanje objekata[2].

Centralna tačka pažnje bio je grad Jagodina, određen kao jedina međustanica između Beograda i Niša za zaustavljanje brzih vozova. Planirano je da stanica ostane na svojoj sadašnjoj lokaciji, u skladu sa nacionalnim planskim dokumentima što je i potvrđeno kroz Prethodnu studiju opravdanosti iz 2022. godine [3]. Međutim, javne konsultacije su otkrile veliku zabrinutost grupe građana iz Jagodine, posebno u vezi sa razdvajanjem urbanog tkiva zajednice, bezbednosnim rizicima, bukom i zatvaranjem pružnog prelaza koji povezuje gradsko područje južno od pruge sa industrijskom zonom i severnim naseljima [4]. Ova pitanja su pokrenula debatu o promenama trase i alternativnim saobraćajnim rešenjima.

Da bi se rešili ovi problemi, analizirani su alternativne trase kroz Jagodinu i opcije u vezi sa zatvorenim putnim prelazom. Pripremljen je detaljan izveštaj, u kojem se analiziraju različita projektna rešenja, a ključni nalazi su sumirani u sledećem odeljku.

2. ANALIZA TRASE IDEJNOG PROJEKTA U POREĐENJU SA ALTERNATIVAMA

Nakon zabrinutosti koju su izrazili građani Jagodine, analiza je uporedila varijantu trase prema Idejnom projektu (IDP) sa alternativnim varijantama izmeštanja železničke pruge i stanice. IDP zadržava postojeći koridor kroz grad i stanicu na njenoj trenutnoj centralnoj lokaciji pored autobuske stanice, što obezbeđuje dobru pristupačnost za putnike i funkcionalnu integraciju sa stambenim područjem i industrijskom zonom. Nasuprot tome, alternativna trasa zaobilazi

gradsko jezgro sa severne strane, idući paralelno sa autoputem unutar uskog koridora koji je već delimično razvijen kao industrijska zona. Ova ruta izbegava direktne uticaje na gusto naseljene stambene zone, ali postavlja železnicu i stanicu na urbanu periferiju, smanjujući pogodnost za svakodnevne korisnike i zahtevajući dodatne veze sa mrežama javnog i drumskog saobraćaja. Poređenje dodatno ističe praktične i strateške kompromise. Iako bi alternativna trasa smanjila razdvajanje urbanog prostora i omogućila snažnije povezivanje sa regionalnom putnom infrastrukturom, ona takođe uvodi značajne izazove, uključujući otkup zemljišta, sukobe sa planiranim razvojem terminala u Jagodini i CT Parka, kao i potrebu za premeštanjem delova infrastrukture autoputa. Štaviše, premeštanje stanice povećalo bi vreme putovanja za putnike i oslabilo integraciju sa gradskim uslugama. IDP, stoga, nudi snažniju povezanost putnika i manje planske konflikte, dok alternative pružaju prednosti kao što su smanjena izloženost buci, manji bezbednosni rizici u naseljenim područjima i potencijal za oslobađanje centralnog gradskog prostora za budući razvoj.

3. VIŠEKITERIJUMSKA ANALIZA

Strateška orijentacija Infrastrukture železnica Srbije (IŽS) čvrsto je usmerena ka optimizaciji i modernizaciji postojećeg železničkog koridora Beograd–Niš. Ovaj pristup teži da održi dvostruku funkciju pruge, kako za putnički tako i za teretni prevoz, uz omogućavanje brzih putničkih vozova za brzine do 200 km/h.

Opšti cilj je postizanje vremena putovanja od približno 90 minuta između dva grada, što je usko usklađeno sa nacionalnom politikom razvoja transporta Srbije i posvećenošću zemlje jačanju Koridora 10 kao dela šire transevropske transportne mreže.

Da bi se testirala kompatibilnost IDP-a sa ovim strateškim ciljevima, sprovedena je višekriterijumska analiza (VKA). VKA je služila kao strukturirani alat za evaluaciju, kroz poređenje trase IDP-a prema sa tri alternativne opcije (varijante A, B i C) i procenjujući svaku u odnosu na širok spektar tehničkih, društvenih, ekoloških i operativnih faktora [5]. Poseban naglasak je stavljen na minimiziranje otkupa zemljišta, izbegavanje nepotrebnog raseljavanja i

preseljenja i smanjenje konflikata sa postojećom urbanom i industrijskom infrastrukturom.

3.1. Definicija početnih kriterijuma i podkriterijuma

Za poređenje varijanti, prvobitno je definisano osam glavnih kriterijuma i trideset osam podkriterijuma, koji obuhvataju tehničke, ekonomske, društvene, ekološke i institucionalne aspekte. Primenjen je proces selekcije kako bi se eliminisali suvišni elementi, preklasifikovala preklapanja i zadržali samo oni podkriterijumi koji omogućavaju smisleno razlikovanje između varijanti..

Na osnovu ovog unapređenja, uspostavljen je revidirani okvir sa sedam glavnih kriterijuma i osam podkriterijuma. Faktori težine dodeljeni su i glavnim kriterijumima i podkriterijumima, a relativne težine su izračunate kako bi se odrazio njihov kombinovani značaj. Konačan skup kriterijuma i podkriterijuma, sa odgovarajućim relativnim težinama, prikazan je u Tabeli 1 u nastavku.

Tabela 1. Konačna lista odabranih podkriterijuma

Glavni kriterijumi	Oznaka	Podkriterijumi	Relativni težinski faktor podkriterijuma
Pristupačnost	K1	Pristupačnost i integracija stanice (pristup železničkoj stanici, pristup javnim sadržajima, atraktivnost lokacije stanice, alternativni pristupni pravci stanici)	10%
Tehnologija	K2	Uticaj drumskog saobraćaja tokom izgradnje	10%
Finansije	K3	Ukupni troškovi projekta (troškovi izgradnje i rekonstrukcije, troškovi otkupa zemljišta i raseljavanja domaćinstava, troškovi preseljenja preduzeća, troškovi održavanja)	20%
Uticaj na životnu sredinu	K4	Buka i vibracije	15%
Društveni uticaj	K5	Uticaji raseljavanja i preseljenja (fizičko raseljavanje domaćinstava, ekonomsko raseljavanje)	10%
	K6	Razdvajanje zajednice	10%
Bezbednost	K7	Potencijalne nezgode i incidenti	20%
Rizici	K8	Kašnjenje (nedostatak planske i projektne dokumentacije, vreme izgradnje, ukupni uticaj na Deonicu 3 i koridor)	5%

osnovu vremena putovanja, čime je obezbeđena uporedivost između putničke i teretne perspektive.

K2 – Uticaj na drumski saobraćaj tokom izgradnje
Ovaj kriterijum je procenio potencijalne poremećaje drumskog saobraćaja tokom izgradnje pruge. Za projektovanu varijantu, uticaji su ocenjivani ko-

3.2. Kvantifikacija predloženih kriterijuma

Određivanje numeričkih vrednosti za svaki izabrani podkriterijum zasniva se na njegovoj specifičnoj prirodi i osnovnim principima definisanim u narednom tekstu. Ovi principi uključuju primenu odgovarajućih metoda ponderisanja, normalizacije i evaluacije, pri čemu je svaka od njih prilagođena karakteristikama odgovarajućeg podkriterijuma [6].

K1 – Pristupačnost i integracija stanica

Kriterijum je procenjivao pristupačnost predloženih lokacija železničkih stanica za putnički i teretni saobraćaj. Za putnički saobraćaj, pristupačnost je procenjena kroz vreme putovanja i udaljenost unutar pet gradskih zona, blizinu javnih, komercijalnih i rekreativnih sadržaja (u radijusu od 1.500 m) i integraciju sa autobuskom stanicom i lokalnim linijama javnog prevoza. Za teretni saobraćaj, analiza je fokusirana na drumske veze, pristupne tačke i vreme putovanja duž primarnih i alternativnih ruta. Numeričke vrednosti su izvedene prvenstveno na

rišćenjem preliminaranih planova upravljanja saobraćajem i pretpostavki o tehnologiji izgradnje. Za alternative, fokus je bio na efektima na autoput Beograd–Niš, posebno u zoni petlje Jagodina, uključujući mogućnost stvaranja zastoja i preusmeravanja saobraćaja između petlje Batočina i Čuprija. Analiza je zasnovana na javno dostupnim podacima o bro-

janju saobraćaja iz baze „Puteva Srbije“, pri čemu su korišćene matrice saobraćajne potražnje iz perioda 2017–2019. godine, zbog ograničene dostupnosti novijih podataka [7].

K3 – Ukupni troškovi projekta

Finansijska procena zasnovana je na detaljnim procenama troškova za trasu predviđenu IDP-om i indikativnim pretpostavkama za alternative, uz oslanjanje na informacije od zainteresovanih strana i najbolje prakse EU. Razmatrani troškovi obuhvatali su železničku infrastrukturu, stanice, petlju Jagodina, glavne objekte (podvožnjake, nadvožnjake, vijadukte), pristupne saobraćajnice, industrijske koloseke, premeštanje industrijskih objekata, otkup zemljišta i raseljavanje domaćinstava.

K4 – Buka i vibracije

Pošto je učestalost saobraćanja vozova identična u svim varijantama, procena se fokusirala isključivo na uticaj buke. Efekti vibracija su isključeni kao zanemarljivi, uz predviđene mere ublažavanja kroz postavljanje antivibracionih podloga u zonama stanica. Uticaji buke procenjeni su brojanjem stambenih i industrijskih zgrada koje se nalaze u krugu od 200 metara od predložene trase.

K5 – Fizičko i ekonomsko raseljavanje

Ovaj kriterijum je analizirao obim preseljenja stanovništva i premeštanja industrijskih objekata i za trasu IDP-a i za alternative. Podaci za IDP prikupljeni su putem terenskih obilazaka, dok su alternative procenjene na osnovu projektnih koncepata. Analiza je napravila razliku između stambenog i industrijskog raseljavanja, kao i između malih i velikih industrijskih objekata, kako bi se obuhvatili socio-ekonomski uticaji i složenost procesa preseljenja.

K6 – Razdvajanje zajednice

Ovaj kriterijum je procenio potencijalnu fragmentaciju zajednica i uticaje na mobilnost, pristup i društvenu koheziju [8]. Razmatrana su dva ključna elementa:

- Premeštanje železnice van centralne zone Jagodine: Iako ne postoje formalni planski dokumenti za ovu opciju, ona je uključena kako bi se uvažila zabrinutost građana. Trasa definisana IDP-om nosi relativno veći rizik od prekida povezanosti zajednice, iako su uticaji delimično ublaženi planiranim podvožnjacima i nadvožnjacima.

Širi prostorni kontekst pokazuje ograničen potencijal za urbano širenje severno od postojeće pruge zbog industrijske zone i autoputa.

- Zatvaranje putno-pružnog prelaza u ulici Kapetana Koče: Potencijalni uticaji na povezanost procenjeni su kroz analizu nivoa usluge i brojanje saobraćaja, pri čemu su kašnjenja usled preusmeravanja izražena u vozilo-minutima.

K7 – Bezbednost

Bezbednosni rizici su procenjeni u smislu potencijalne štete u slučaju nezgoda ili incidenata. Iako je verovatnoća nastanka nesreće jednaka u svim varijantama zbog primene savremenih bezbednosnih standarda, razlike u korišćenju okolnog zemljišta i gustini naseljenosti utiču na težinu mogućih posledica. Primenjen je odnos 60:40 da bi se razlikovali stambeni i ekonomski objekti, pružajući jasniju sliku o nivou izloženosti riziku i potrebi za planiranjem vanrednih intervencija.

K8 – Rizici

Ovaj kriterijum fokusirao se na rizike vezane za rokove realizacije projekta, mereno kao dodatno vreme potrebno za završetak planske, tehničke i tenderske dokumentacije, kao i za sprovođenje pripremih i administrativnih procedura pre potpisivanja ugovora.

3.3. Rezultati višekriterijumske analize (VKA)

Na osnovu gore definisanih principa, numerička vrednost dodeljena je svakom usvojenom kriterijumu za svaku analiziranu varijantu. Nakon usklađivanja kriterijuma korišćenjem metode linearne normalizacije, dobijene su vrednosti za sve kriterijume, koje su zatim korišćene u modelu. Poređenje svih predloženih varijanti, na osnovu definisanih konačnih kriterijuma, sprovedeno je korišćenjem metode VKA. TOPSIS metoda je izabrana kao najprikladniji pristup. Ova metoda omogućava da varijanta koja nema najviši rezultat ni u jednom kriterijumu i dalje bude rangirana kao najpovoljnija u ukupnom zbiru [9]. Za implementaciju metode korišćen je programski jezik Python zajedno sa njegovim modulom za višekriterijumsko odlučivanje „pymcdm“. Rezultati primenjene metode VKA prikazani su u Tabeli 2.

Tabela 2. Rezultat VKA korišćenjem TOPSIS metode u osnovnom scenariju

	Varijanta IDP	Alternativa Varijanta A	Alternativa Varijanta B	Alternativa Varijanta C
Rezultat	0.65112	0.26431	0.43489	0.45116
Rang	1	4	3	2

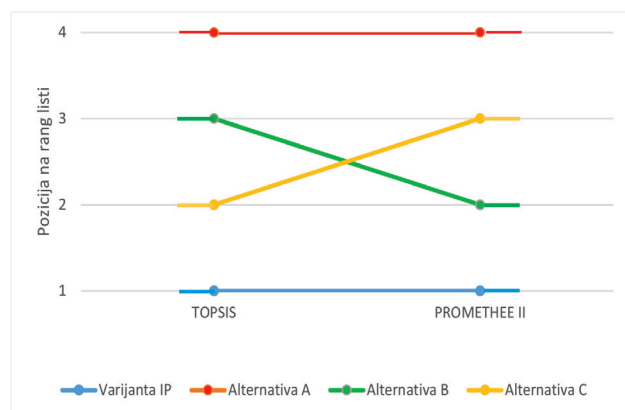
Da bi se verifikovali dobijeni rezultati, sprovedena je dodatna VKA koristeći iste definisane kriterijume i njihove numeričke vrednosti, ali ovog puta primenom PROMETHEE II metode, metode za rangiranje

i izbor među konačnim skupom alternativnih opcija prema kriterijumima koji su često međusobno suprotstavljeni. Rezultati ove analize prikazani su u Tabeli 3.

Tabela 3. Rezultat VKA korišćenjem PROMETHEE II metode u osnovnom scenariju

	Varijanta IDP	Alternativa Varijanta A	Alternativa Varijanta B	Alternativa Varijanta C
Rezultat	0.53333	-0.38333	-0.06667	-0.08333
Rang	1	4	2	3

Grafički prikaz rangiranja svih varijanti prema obe metode dat je na slici 1.



Slika 1 Rangiranje varijantnih rešenja

Nakon dobijanja rezultata na osnovu početno definisanih faktora težine, razvijeno je šest dodatnih scenarija za testiranje robusnosti VKA i njene osetljivosti na promene parametara. Ovi scenariji izmenili su relativnu težinu kriterijuma, pri čemu su povećanja kompenzovana proporcionalnim smanjenjima kod drugih kako bi se sačuvala ukupna vrednost pondera od 100%. Ove izmene su naglasile kriterijume koji se smatraju posebno važnim za građane Jagodine, kako bi se procenilo kako bi njihov veći uticaj mogao uticati na ishod rangiranja.

Rezultati analize, potkrepljeni metodama TOPSIS i PROMETHEE II i validirani testiranjem osetljivosti, potvrđuju robusnost rezultata. IDP varijanta dosledno se rangira kao najpovoljnija opcija, pri čemu je samo marginalno osporena pod ekstremnim ponderisanjem kriterijuma društvenog uticaja u jednom scenariju osetljivosti. Generalno, rezultati se smatraju pouzdanim.

4. ZAKLJUČAK I PREPORUKE VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE

Na osnovu VKA, koja je ispitala širok spektar tehničkih, finansijskih, ekoloških, društvenih i aspekata vezanih za rizik, IDP varijanta je identifikovana kao preferirana opcija za definisanje železničkog koridora i lokacije stanice u Jagodini. Rezultati su konzistentni u različitim metodološkim pristupima (TOPSIS i PROMETHEE II) i ostaju stabilni kroz više scenarija osetljivosti, čime se dodatno potvrđuje pouzdanost procene.

U celini, nalazi VKA potkrepljuju izbor trase i lokacije stanice u Jagodini, istovremeno naglašavajući širu ulogu projekta u unapređenju regionalne mobilnosti, povezanosti i društveno-ekonomskog razvoja u okviru modernizacije Koridora 10.

Iako nije namenjena da služi kao jedina osnova za donošenje odluka, VKA pruža ključni alat za podršku i argumentaciju procesa evaluacije. Ona osigurava da je izabrana opcija usklađena sa ciljevima strateškog planiranja i doprinosi dugoročnoj funkcionalnosti, integraciji i koherentnosti železničke mreže.

LITERATURA

- [1] Regulation on the establishment of the Spatial Plan for the Area of Special Purpose of the Infrastructure Corridor of the Belgrade–Niš Railway Line (“Official Gazette of the Republic of Serbia”, No. 117/2020).
- [2] Regulation on the establishment of the Spatial Plan for the Area of Special Purpose of the Infrastructure Corridor of the Belgrade–Niš Railway Line, (“Official Gazette of the Republic of Serbia”, No. 91/2024).
- [3] Preliminary Feasibility Study, PPF9: Reconstruction and modernization of the railway line Belgrade – Niš, Final Report, (2022).
- [4] Report on the conducted public inspection of the draft amendments and supplements to the spatial plan for the area of special purpose of the infrastructure corridor of the Belgrade–Niš railway line, Agency for Spatial Planning and Urbanism of the Republic of Serbia (2024).
- [5] Macharis, C., & Bernardini, A., Reviewing the use of Multi-Criteria Decision Analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach. *Transport Policy*, Volume 37, 177–186, (2015).
- [6] Broniewicz, E., & Ogrodnik, K., Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83, 102351, (2020).
- [7] <https://www.putevi-srbije.rs/index.php/brojanje-saobrahaja>
- [8] P. R. Anciaes, Measuring community severance for transport policy and project appraisal, *Urban Transport XIX*, 559-569, (2013).
- [9] Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J., A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051–13069, (2012).
- [10] Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J., PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200, 198–215, (2010).

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

656.2(497.11)

ŽELEZNICE : naučno-stručni časopis Železnica Srbije
/ glavni urednik Slavko Vesković ; odgovorni urednik
Danko Trninić. - god. 5, br. 7 (1949) - god. 61, br. 5/6
(maj/jun 2005) ; god. 62, br. 1 (2017) - . - Beograd :
Društvo diplomiranih inženjera železničkog saobraćaja Srbije
(DIŽS), 1949-2005; 2017 - (Beograd : Instant system). - 29 cm

Polugodišnje. - Je nastavak: Саобраћај (Београд. 1945) = ISSN 2560-3566.
- Drugo izdanje na drugom medijumu : Železnice (Online) = ISSN 2956-140X
ISSN 0350-5138 = Железнице
COBISS.SR-ID 959492