

ŽELEZNICE

VOL. 69 • BROJ 2 • STRANA 63-122 • BEOGRAD • DECEMBAR 2024. GODINE



IZDAJE:



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

ŽELEZNICE

VOL. 69 • BROJ 2 • STRANA 63-122 • BEOGRAD • DECEMBAR 2024. 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

PREGLEDNI RADOVI

Gordan Stojić, Sanjin Milinković, Vladan Nikolić

Informaciono-komunikacioni sistemi u cilju eliminisanja ili smanjenja uticaja uskih grla na železnici..... 63 - 75

Strahinja Ognjanović, Sanjin Milinković, Predrag Jovanović

ETCS krive kočenja..... 76 - 86

Željko Kokeza, Milivoje Ilić, Ivan Belošević

Napredna softverska rešenja za izradu reda vožnje u železničkom saobraćaju..... 87 - 94

STRUČNI RADOVI

*Dušan Stamenković, Aleksandar Miltenović, Milan Banić,
Miloš Simonović, Marko Perić, Damjan Rangelov*

Primena uređaja za vizuelnu kontrolu podvozja železničkih vozila u okviru kontrolnih pregleda 95 - 101

Dejan Volarac, Norbert Pavlović, Milivoje Ilić

Primena QGIS softvera za obradu podataka o putno-pružnim prelazima..... 102 - 122

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 Gordana 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 tabela, a na sredini ispod grafikona, crteža i fotografija. Ispod svih njih, „italic” slovima u zagradi tipa „()”, navesti izvor podataka. Sadržaj unutar tabela 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:

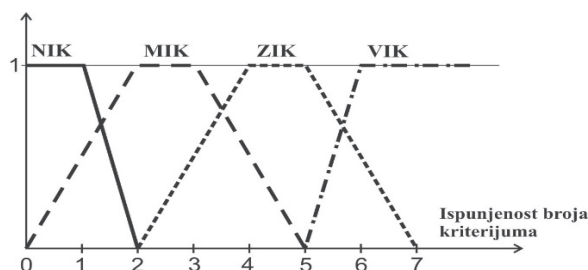
$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

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

PREGLEDNI RAD

GORDAN STOJIĆ*, SANJIN MILINKOVIĆ, VLADAN NIKOLIĆ

INFORMACIONO - KOMUNIKACIONI SISTEMI U CILJU ELIMINISANJA ILI SMANJENJA UTICAJA USKIH GRILA NA ŽELEZNICI**INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS FOR ELIMINATION AND MITIGATING INFLUENCE RAILWAY BOTTLENECKS**

Datum prijema rada: 5.11.2024. god.

Datum prihvatanja rada: 15.12.2024. god.

UDK: 656.2+004|654.9

REZIME:

Pod uskim grlima u železničkim stanicama podrazumeva se prvenstveno nemogućnost blagovremene dopreme ili otpreme, dugo vreme zadržavanja vozova, stvaranje zagušenja, smanjena propusna moć, pouzdanost i efikasnost operacija u ovim stanicama. Blagovremena otprema vozova može biti onemogućena iz različitih razloga (prioritet putničkog saobraćaja, problemi na transportnim pravcima, neblagovremeno informisanje, nespremnost lokomotive, drugi organizacioni problemi prevoznika itd.). U radu su prezentovane savremene tehnike i tehnologije za razmenu informacija o vozovima, kolima, robe, obradu dokumentacije, obavljanje carinskih i drugih formalnosti i slično u cilju otklanjanja ili smanjenja uticaja uskih grla u prevozu putnika i robe u železničkom saobraćaju sa posebnim akcentom na pogranične stanice. Posebno je analizirana mogućnost primene u železničkoj stanici Subotica nakon završetka njene rekonstrukcije i modernizacije. Železnička stanica Subotica je najkritičnija tačka i usko grlo u železničkom saobraćaju između Srbije i Mađarske. Zbog činjenice da vozovi koji dolaze iz Srbije na granici s Mađarskom prelaze u Šengensku zonu vreme čekanja zabeleženo za prelazak granice je veoma dugo.

Ključne reči: digitalno automatsko kvačilo, struktura projekta, implementacija, analiza troškova i koristi

SUMMARY:

Bottlenecks in railway stations primarily refer to delays in train dispatch and arrival, extended waiting times, congestion, and reduced operational efficiency and reliability. Various factors can hinder the timely dispatch of trains, including the prioritization of passenger traffic, infrastructure issues, untimely communication, locomotive unpreparedness, and other organizational challenges faced by carriers. This paper explores modern techniques and technologies for optimizing information exchange related to trains, freight, and documentation processing, including customs and other formalities. The goal is to mitigate bottlenecks in passenger and freight transport, with a particular focus on border stations. Special attention is given to the Subotica railway station, analyzing the potential impact of its reconstruction and modernization on improving cross-border rail traffic. As the primary bottleneck between Serbia and Hungary, Subotica station experiences significant delays due to its role as the entry point into the Schengen Area, resulting in extended border crossing times.

Key words: railway transport, passengers, freight, border stations, bottlenecks, innovative solutions.

*Prof. dr Gordan Stojić, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositėja Obradovića 6, gordan@uns.ac.rs

1. UVOD

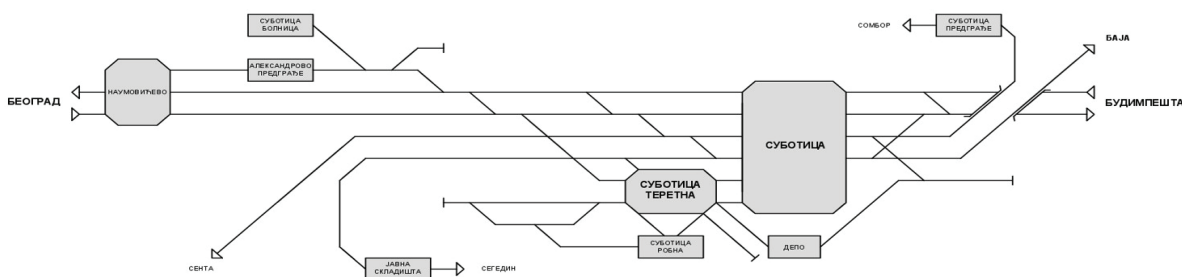
Savremeni trendovi: globalizacija i internacionalni procesi izraženi na evropskom tlu, za posledicu imaju pojavu liberalizacije i deregulacije tržišta i stvaranje harmonizovane i kompatibilne evropske privrede. Takvo privredno jedinstvo zahteva efikasan protok kapitala, ljudi, dobara, informacija i energije. Transportni sistem predstavlja vrlo važan faktor navedenih procesa. Međutim, nema efikasnog transportnog sistema bez transevropske mreže saobraćajnica svih vidova saobraćaja čiji su osnovni atributi definisani i zacrtani u svim dokumentima saobraćajne politike. Za efikasan transportni sistem veoma je važan efikasan odziv železničkog (pod)sistema.

Po osnovnoj definiciji usko grlo u saobraćaju predstavlja fazu u transportnom lancu koja se izvodi sporije od ostalih. Kako bi se ta faza poboljšala preduzimaju se odgovarajuće mere i uvode se odgovarajuća rešenja. Cilj mera i rešenja je da eliminišu uzroke sporijeg rada (protoka) ili smanje njihov uticaj. Eliminisanjem ili smanjenjem uticaja uskih grla transportni sistem postaje efektivniji i efikasnije odgovara zahtevima privrede a time utiče i na uspešniju realizaciju privrednih aktivnosti.

Prema podacima Zavoda za statistiku Republike Srbije međunarodni železnički prevoz robe (uvoz,

izvoz i tranzit) čini oko 70% od ukupnog prevoza železnicom. Preko železničke granične stanice Subotica realizuje se oko 17% uvoza, 42% izvoza i 41% tranzita. [1] Podaci govore o značaju železničke stanice Subotica železničkoj mreži Srbije. Pored toga, stanica se nalazi na mreži drumskih i železničkih saobraćajnica definisanih u okviru Orient/East-Med (OEM)¹ drumskih i železničkih koridora unutar regiona Zapadnog Balkana. Takođe, pruga 105 (Beograd) - Stara Pazova - Novi Sad - Subotica - drž. granica - (Kelebia) obuhvaćena je kao „The Core Network“ u okviru transportne politike šire transevropske transportne mreže se zasnivaju na Evropskoj regulativi 1315/2013.

Najzahtevnija a time i najskuplja rešenja za otklanjanje uskih grla na infrastrukturi su ona koja zahtevaju izvođenje građevinskih radova. U sklopu modernizacije, rekonstrukcije i izgradnje železničke pruge 105: Beograd – Subotica – državna granica (Kelebija), za očekivano je da će izgrađeni železnički kapaciteti u stanicama Subotica teretna i Subotica (putnička), odnosno železničkog čvora Subotica, uzimajući u obzir i savremene sisteme osiguranja, centralizacije i daljinsko upravljanje saobraćajem, biti dovoljni i neće doći do pojave uskih grla (Slika 1). To znači da će kapaciteti biti dovoljni i sa aspekta broja i sa aspekta dužine koloseka. Nova i moderna oprema i nova postrojenja obezbediće veliku pouzdanost u radu stanice.



Slika 1. Tehnološka šema železničkog čvora Subotica – novo rešenje [2]

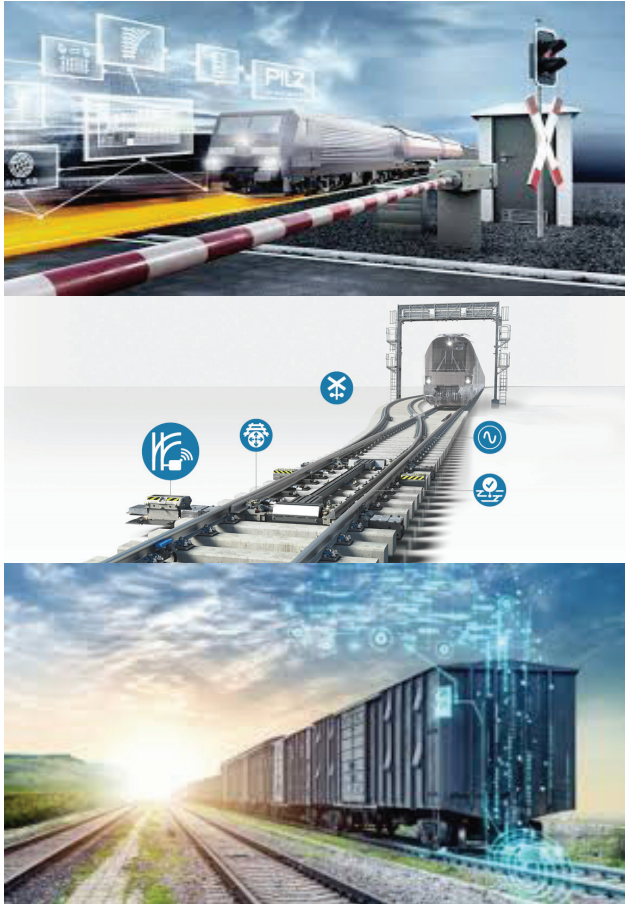
2. PREGLED INOVATIVNIH REŠENJA IZ OBLASTI INFORMACIONO-KOMUNIKACIONIH TEHNOLOGIJA

Potrebe za unapređenjem kvaliteta usluga uvek su aktuelne na železnici. Posebno je potrebno obratiti pažnju na delove sistema koji se nalaze

na kritičnom putu i ograničavaju ukupne performanse a time i kompetitivnost železničkih usluga. Takve potrebe i zahtevi su usko povezani sa tehnološkim inovacijama, digitalizacijom, kao i tren-

¹Koridor obuhvata region Centralne Evrope: sever, Baltik, Crno more i Mediteran.

dovima i izazovima u vezi sa zahtevima transportne politike na železnici (dekarbonizacija, ciljevi Green Deal-a, modalna promena u teretnom saobraćaju, itd.).



Slika 2. Digitalna automatizovana rešenja za železnici (Izvor: © Pilz GmbH & Co. KG & ©voestalpine & ©Siemens)

U dokumentu „Roadmap for Digital Railways“ iz marta 2016. godine koji je nastao kroz saradnju između ključnih udruženja i organizacija CER (Community of European Railway and Infrastructure Companies), CIT (International Rail Transport Committee), EIM (European Rail Infrastructure Managers) i UIC (International Union of Railways), definisane su osnovne oblasti primene digitalnih tehnologija u železničkom transportu (Slika 2) [3]:

- povezivanje železnica kroz pouzdane komunikacije za bezbedne, efikasne i atraktivne sisteme,
- poboljšanje korisničkog iskustva, nudeći bolju i dodatnu vrednost za korisnike usluga železnice,

- veći kapaciteti kroz povećanje pouzdanosti, efikasnosti i performansi železnice,
- unapređenje ponude i jačanje konkurentnosti železnice tako što će se na najbolji način iskoristiti svi dostupni transportni podaci.

Studija STAFFER (<https://www.railstaffer.eu/>) iznosi predviđanje da će u narednom petogodišnjem periodu na nivou razvijenih uprava najvažniji uticaj na železnicu imati posledice uvođenja ERTMS (European Rail Traffic Management System) i ETCS (European Train Control System) sistema. Takođe, očekuje se veliki uticaj ostalih novih tehnologija i digitalizacija procesa i njihovo uključivanje u alate za održavanje, BIM alate za projektovanje (Building Information Modelling), kao i u alate za operativno upravljanje u realnom vremenu, ali i platforme za povezivanje korisnika (npr. <https://www.maas-platform.com/>) i povećanu mobilnost, i digitalno upravljanje saobraćajem i povezivanje preko sistema IoT (Internet of Things). Jedan od zaključaka je i da će kratkoročno biti veoma važno da se radi na jačoj kooperaciji i razmeni info i železničkih operatera (eng. Railway Undertakings – Rus). Dugoročno, posle 2030. godine očekuje se pojava ATO (Automated Train Operation) sistema, značajno povećanje performansi korišćenjem i analizom podataka dobijenih pomoću BigData modela, ali i novi pogonski sistemi (hidrogen, baterije), kretanje povezanih vozova – plotuniranje, ili virtuelno i digitalno automatsko kuplovanje. [4]

Neka od dodatnih rešenja vezanih za informacione tehnologije (IT), a koja su pomenuta u studiji STAFFER, odnose se i na [4]:

- telekomunikacije i uvođenje 5G koncepata i arhitektura budućeg železničkog sistema mobilne komunikacije i konceptualni model podataka za železnicu,
- inspekcija i kontrola kola zasnovana na tehnologiji dronova,
- aktivne suspenzije, novi materijali u izgradnji vozila,
- razvoj efikasnijih simulatora koji omogućavaju napredno učenje i dodatne obuke osoblja,
- prilagođavanje sistema (nova arhitektura sistema, novi formati) tako da se lakše implementiraju i primene nove IT i ostale tehnologije,

Upravljanje saobraćajem i asistiranje u donošenju operativnih dispčerskih odluka pomoću veštačke inteligencije (eng. Artificial Intelligence – AI), ili upotrebom naprednih algoritama.

Kao primeri dobre prakse koji su uspostavljeni u vazdušnom saobraćaju kroz projekat Single European Sky, a koji bi mogli da se delimično primene i u železničkom tržištu kroz European Rail Area.

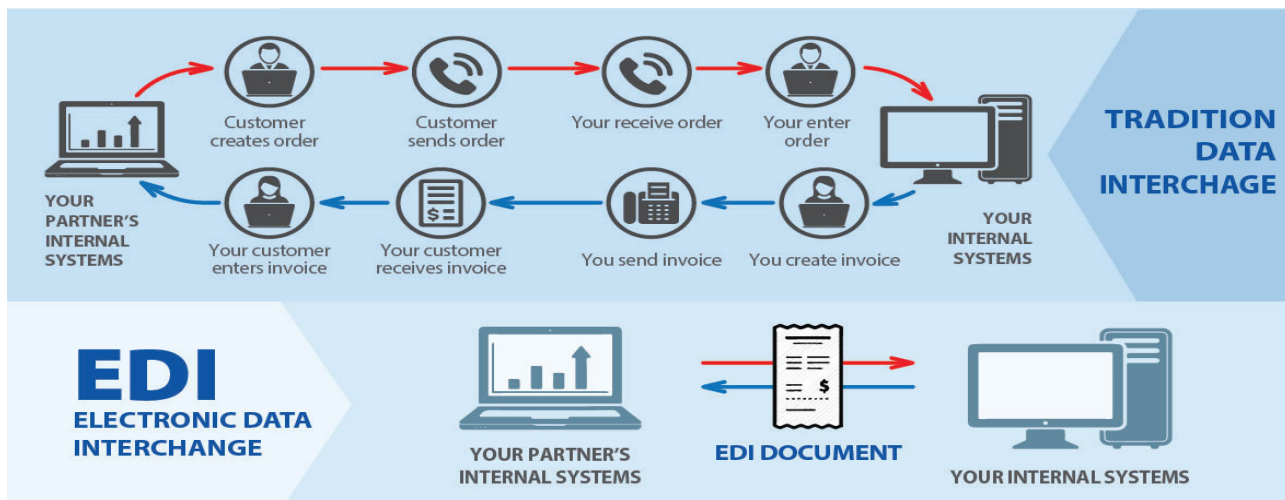
Takođe, projekat STAFFER identifikuje koje je mere potrebno preduzeti za povećanje efikasnosti na graničnim prelazima. Kao ključna mera za povećanje efikasnosti prekograničnih transporta železnicom navodi se podsticanje harmonizovanih bezbednosnih pravila širom Evrope i ubrzanje primene ERTMS-a. Obe ove mere direktno su povezane sa nedostacima koji su danas prisutni a spadaju u oblast informaciono – komunikacionih tehnologija. Takođe, eksperti su ukazali da će biti važno raditi na AI rešenjima za direktan prevod govora pri komunikaciji između menadžera infrastrukture (IM – IM) i u komunikaciji između menadžera infrastrukture i operatera (IM – RU). U tom smislu predlažu se dvojezični telefonski obrasci, ali i sistemi trenutnog prevođenja u verbalnoj komunikaciji radiotelefonijom. Uz to potrebno je raditi na potpunoj implementaciji digitalnog upravljanja kapacitetima, uz korišćenje digitalnih platformi. Da bi se radilo na modernizaciji i unapređenju sistema u sledećem periodu neophodno je uključiti stručnjake koji će imati znanje i obrazovanje iz savremenih informacionih tehnologija i komunikacije, a

koje uključuje: IT i fizička bezbednost, razvoj softverskih aplikacija, analitičar podataka (Big Data), upravljanje digitalnim projektima, upravljanje digitalne transformacije, E-learning - digital learning (učenje na daljinu), specijalisti za digitalno učenje (AI, Augmented Reality – AR, Virtual Reality – VR, itd.), programer virtuelnog učenja, specijalista za sajber bezbednost. [4]

Iako su definisani posebno, svim prethodno navedenim uzrocima uskih grla, može da se sistemski pristupi i radi na njihovom poboljšanju ili uklanjanju. U nastavku opisujemo neke od sistema čija implementacija može da reši probleme informaciono – komunikacione prirode. Osnovni principi rada, funkciju i nivoi Evropskog sistema upravljanja železničkim saobraćajem (ERTMS), Evropskog sistema kontrole vozova (ETCS) i globalni sistema za mobilne komunikacije za železnicu (GSM-R) detaljno su opisani u radu [5]. Ova tri sistema predstavljaju osnovne nosioce informaciono – komunikacionih sistema na železnici. Drugi sistemi koji koriste prikazani su dalje u tekstu.

2.1. Elektronska razmena podataka (EDI)

S obzirom na to da protok informacija ima presudan uticaj na efikasnost procesa na železničkim graničnim prelazima, elektronska razmena informacija između železnica mogla bi značajno da poveća efikasnost na železničkim graničnim prelazima. Kada se tražene informacije razmenjuju elektronskim putem, organizacija procesa na železničkim graničnim prelazima mogla bi se značajno pojednostaviti (slika 3).



Slika 3. Elektronska razmena podataka (Izvor: <https://noii.vn/en/what-is-edi.html/>)

Elektronska razmena podataka - EDI najbolje se opisuje kao digitalni oblik koji se koristi za elektronski prenos informacija koje su prethodno bile na papiru (Slika 3). Za industriju železničkog transporta robe, ovo uključuje stavke kao što su tovarni listovi, uputstva za železnički transport i dokumentacija za praćenje robe. Pošto EDI koristi standardne formate dokumenata, ili skupove transakcija, da definiše redosled informacija u bilo kom datom dokumentu, omogućava brzo i tačno deljenje podataka. Ovo je posebno važno za sektor železničkog teretnog transporta, koji se oslanja na prenos velikih količina oblika koji se često ponavljaju. [6]

Automatska razmena podataka ili elektronska razmena podataka (EDI) definiše se kao automatizovana razmena strukturiranih elektronskih poruka za upotrebu u drugom sistemu ili organizaciji. Korišćenjem definisanog protokola i pošiljalac i primalac mogu da verifikuju da je poruka formalno tačna i da može da se koristi za dalju obradu. EDI komunikacija se karakteriše kao razmena informacija između dve serverske aplikacije i obično između dve organizacije. Kod graničnih prelaza postoji više zainteresovanih strana koje bi koristile elektronske podatke [7]:

- IM: u pitanju su dva ili više upravljača infrastrukture, po jedan u svakoj zemlji.
- Železnički prevoznici: dva ili više prevoznika, po jedan u svakoj zemlji.
- Carina: ako je granica EU/non-EU onda su dve Carinske uprave uključene.
- Granična policija: ako je granica spoljna granica (nije u Šengen sporazumu), u pitanju su dve uprave granične policije.
- Drugi državni organi: drugi granični organi, kao što su fitosanitarni, sanitarni, organi radiologije.
- Špediter: špediter organizuje transport robe, sklapa ugovore sa prevoznicima.
- Trgovci (uvoznik, izvoznik ili vlasnik tranzitne robe): obično nisu prisutni na graničnom prelazu ali mogu biti glavni izvor informacija o robi ili da imaju zahtev o praćenju kretanja robe.

UN/EDIFACT (pravila Ujedinjenih nacija za elektronsku razmenu podataka za administraciju, trgovinu i transport) obuhvataju skup međunarodno dogovorenih standarda, imenika i smernica za elek-

tronsku razmenu strukturiranih podataka između nezavisnih kompjuterizovanih informacionih sistema. Pravila preporučena u okviru Ujedinjenih nacija, odobrava i objavljuje UNECE i održavaju se prema dogovorenim procedurama. [6]

2.2. TAP/TAF TSI

Evropska komisija usvojila je uredbu o standardima u oblasti telematskih aplikacija za železničke putničke usluge. Ovi standardi, poznati su u železničkom sektoru kao „tehničke specifikacije za interoperabilnost“ (TSI) odnose se na podsistem „telematske aplikacije za putnike“ (TAP) transevropskog železničkog sistema i definišu kako zainteresovane strane moraju da komuniciraju sa podacima vezanim za putovanja u oblast železničkog saobraćaja. Svrha TAP TSI-ja je da definiše procedure i interfejsu u celoj Evropi između svih tipova aktera železničke industrije (putnika, železničkih preduzeća, menadžera infrastrukture, menadžera stanica, organa javnog prevoza, prodavaca karata i turopertora). [8] To će doprineti interoperabilnom i ekonomičnom sistemu razmene informacija za Evropu koji omogućava pružanje visokokvalitetnih informacija o putovanju i izdavanje karata putnicima na isplativ način, čime se ispunjavaju i zahtevi Uredbe o pravima putnika. [9] Za implementaciju TAP TSI potrebni su sledeći koraci:

- formiranje računarskog sistema, upravljanje i master plan,
- razvoj računarskog sistema i
- njegovo podešavanje i puštanje u rad (treća faza).

Cilj razvoja Tehničkih specifikacija za interoperabilnost za telematske aplikacije za teretne usluge (TAF TSI) je da u sektoru teretnog transporta, železnica treba da poboljša usluge i efikasnost kako bi povećala prihode i tržišni udeo, i da bi igrala svoju ulogu kroz održivi transport. TAF TSI ima za cilj da definiše razmenu podataka između pojedinačnih menadžera infrastrukture (IM), kao i između IM i železničkih prevoznika. Pored razmene podataka, TAF TSI opisuje poslovne procese koji uključuju IM i železničke prevoznike. Iz tog razloga, TAF TSI duboko utiče na postojeće poslovne procese međunarodne železničke infrastrukture. TAF, ili barem IT interfejsi sa drugim partnerima,

moraju da budu implementirani na sličan način od strane svih TAF TSI partnera. Definisani su kritični atributi uspešne usluge transporta: sposobnost da se prate pošiljke, da se odredi kada će da se izvrše isporuke kupcima i da se maksimizira produktivnost transportnog lanca. Ovi primarni ciljevi mogu da se postignu ekonomično korišćenjem poslovnih procesa i pratećih informacionih sistema, za transportne lance u poslovnim modelima otvorenog pristupa ili mrežne saradnje železničkih kompanija.

Očekivane koristi za železnice koje implementiraju i koriste TAF TSI su:

- jedinstveni komunikacioni sistem za sve poslovne slučajeve koje operater može da pronađe,
- poboljšana komunikacija i koordinacija procesa između železničkih operatera i menadžera infrastrukture (u smislu kvaliteta i brzine),
- jedinstveni standardizovani način rada, obezbeđujući uštede kroz bolji sistem upravljanja kvalitetom; uspostavljanje homogenih procedura; smanjenje troškova održavanja sistema,
- standardizovani i interoperabilni komunikacioni interfejsi,
- učesnici imaju snažnu i posvećenu zajednicu korisnika.

Trenutno je TAF TSI u naprednoj fazi implementacije unutar Evropske unije. To vodi ka harmonizaciji elektronske razmene informacija u Evropi ali nastanak velike i posvećene zajednice korisnika (železničke kompanije, kontrolne organe, menadžere infrastrukture, tehničko osoblje i klijente) koja pokriva 85% tržišta železničkog tereta u EU. Implementacija TAF TSI je takođe pokrenula pozitivan efekat na harmonizaciju procesa rada železnice.

Dokumenti koji se razmenjuju sa TAF TSI [8]:

- **Tovarni list.** Tovarni list u skladu sa CIM-om mora da bude poslat (elektronski ili na drugi način) od strane glavnog železničkog operatera, koji kreira elektronsku poruku naloga za pošiljku. Mora da prikazuje sve informacije potrebne za prenošenje pošiljke od pošiljaoca do primaoca prema „Jedinstvenim pravilima u vezi sa ugovorom o međunarodnom železničkom prevozu robe (CIM)“, „Jedinstven-

im pravilima o ugovorima o korišćenju vozila u međunarodnom železničkom saobraćaju (CUV)“ i važećim nacionalnim pravilima.

- **Zahtev za trasu.** Trasa definiše tražene, prihvaćene i stvarne podatke koji se čuvaju u vezi sa trasom i karakteristikama voza za svaki segment te trase. Trase se koriste za sastavljanje ukupnog transportnog pravca. Operater i menadžer infrastrukture razmenjuju skup poruka zahteva za trasom kako bi se dogovorili o prevoznom putu između dve tačke na kojima voz (sa datom dužinom, masom itd.) može da vozi po infrastrukturi sa datim karakteristikama (gabariti, osovinsko opterećenje itd.). .).
- **Vožnja voza.** Poruka prognoze kretanja voza se koristi za pružanje informacija o procenjenom vremenu na ugovorno dogovorenim tačkama. Ova poruka biće poslata od menadžera infrastrukture operateru i susednim menadžerima infrastrukture koji su uključeni u transport.
- **Kretanje kola/vagona.** Svrha ove poruke je da pošalje procenjeno vreme razmene (ETI) ili ažurirani ETI vagona od jednog operatera do sledećeg u transportnom lancu. Poslednji operater u transportnom lancu vagona šalje glavnom operateru procenjeno vreme dolaska ili ažuriranu.
- **Procena nakon putovanja radi poboljšanja kvaliteta.** Proces analize je suštinski proces nakon putovanja koji podržava poboljšanja kvaliteta. Pored merenja kvaliteta usluge koja se isporučuje korisniku, vodeći operater, operateri i menadžeri infrastrukture moraju da mere kvalitet komponenti usluge koje ukupno čine proizvod koji se isporučuje korisniku.
- **Referentni podaci.** Obavezno je da svi operateri, menadžeri infrastrukture i vlasnici vagona imaju standardizovane referentne kodove (kao što su kodovi preduzeća ili lokacije) kako bi mogli da se pridruže zajednici korisnika TAF-a i razmenjuju elektronske poruke. Bez postojanja takvih referentnih kodova nije moguća razmena bilo koje elektronske poruke u okviru TAF TSI.

Implementacija i funkcionisanje TAF TSI funkcija u obliku IT alata pomenutih u ovom odeljku su uspešni jer su razvijeni na dobrovoljnoj i komer-

cijalno orijentisanoj osnovi od strane evropskog železničkog sektora tokom godina i (su)finansirani su od strane Evropske unije u obliku poziva za povezivanje Evrope (CEF).

Alati (IT alati) koji se koriste u Evropi za implementaciju i rad TAF TSI su:

- Sistem zajedničkih komponenti (CCS);
- Otvoreni korisnički EDI sistem za železnički teretni transport ORFEUS,
- Sistem koordinacija trasa (PCS) i HEROES,
- Informacioni sistem vozova (TIS) i poboljšana pouzdanost usluge (ISR).

2.2.1. Sistem zajedničkih komponenti (CCS)

Sistem zajedničkih komponenti sastoji se od tri elementa koji obezbeđuju interoperabilnost evropskog železničkog saobraćaja:

- Zajednički interfejs (CI): tehnički alat koji podržava interoperabilnu razmenu poruka.
- Centralna referentna baza podataka (CRD): centralizovana baza podataka koja čuva šifre lokacija i šifre kompanije koje se zahtevaju prema TAF TSI uredbi.
- Autoritet za sertifikaciju (CA): telo koje obezbeđuje bezbednu komunikaciju između zainteresovanih strana koristeći zajednički interfejs.

Usluge CCS-a (eng. Common Components System) mogu da koriste više zainteresovanih strana unutar industrije. CI obezbeđuje platformu za standardizovanu razmenu podataka. Kodovi zemlje i lokacije dostupni su u CRD-u. Štaviše, referentne baze podataka o voznim parkovima (RSRD) su takođe dostupne preko CI. To znači da CCS može da stvori korisničku vrednost za IM, železničke prevoznike i tehničke kolske službe. [10]

2.2.2. ORFEUS

ORFEUS (eng. Open Railway Freight EDI User System) je informacioni sistem razvijen i kojim upravlja Raildata, a služi za razvoj i proizvodnju centralnih sistema za razmenu informacija i podataka za evropski železnički teretni transport. ORFEUS sistem obezbeđuje razmenu podataka CIM tovar-

nih listova i CUV kolskih lista između železničkih operatera koristeći Centralni sistem podataka (CDS). ORFEUS komponente su [10]:

- centralni deo CDS (Centralni sistem za upravljanje podacima) koji deluje kao posrednik poruka za prikupljanje i distribuciju informacija, uključujući specifičnu logiku i verifikacije.
- nacionalni informacioni sistemi (NIS) povezanih železničkih operatera.

ORFEUS tehnologiju koriste železničke kompanije u Češkoj, Luksemburgu, Švedskoj, Hrvatskoj, Austriji, Nemačkoj, Danskoj, Holandiji, Španiji, Švajcarskoj, Belgiji, Francuskoj, Italiji. Železnička preduzeća šalju podatke o sadržaju tovarnih/kolskih listova ORFEUS-u, koji te podatke distribuira drugim prevoznicima uključenim u transport. CIM/ CUV beleške u papirnoj formi postoje i još uvek prate vagone.

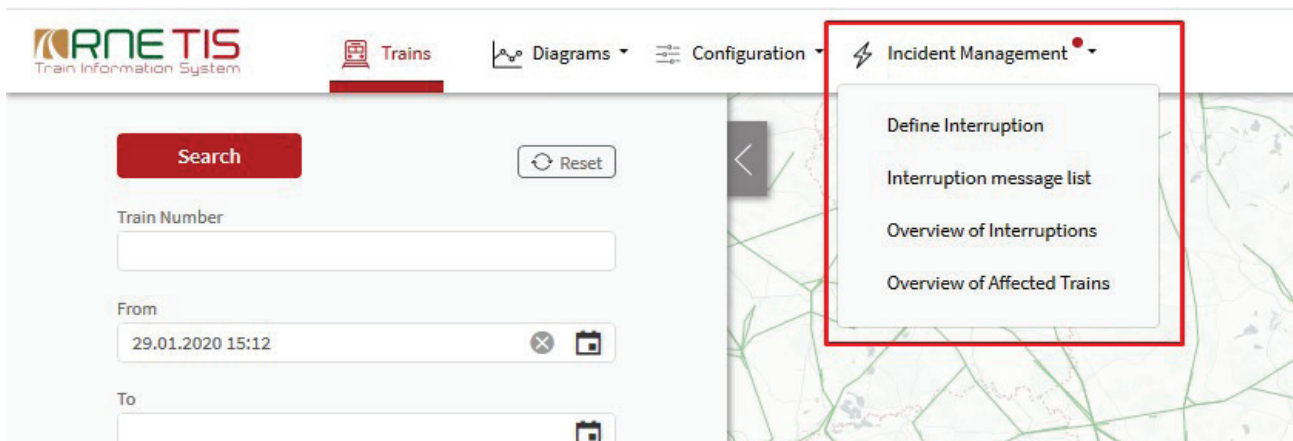
Razmena podataka se vrši kao što je gore navedeno, ali podaci ispunjavaju ulogu elektronskog tovarnog lista (ECN). Više se ne izdaje niti predaje papirni oblik formulara.

2.2.3. Sistem koordinacije trasa (PCS)

PCS (eng. Path Coordination System) je alat za objavljivanje obavezujuće ponude unapred dogovorenih trasa i rezervnog kapaciteta i za upravljanje međunarodnim zahtevima za trase na koridoru. Prednost ovog rešenja je što se prikazani podaci, za unapred dogovorene trase, i rezervni kapacitet mogu da koriste za kreiranje zahteva za trasu – bez ikakvog ručnog kopiranja. Ovaj metod pojednostavljuje prezentaciju i upravljanje trasama, koje ostaju u katalogu za dodelu kao adhoc trase tokom perioda voznog reda. [10]

2.3. Informacioni sistem vozova (TIS)

TIS (eng. Train Information System) je veb aplikacija koja podržava međunarodno upravljanje vozovima kroz pristup podacima o vozovima u realnom vremenu koji se odnose na međunarodne vozove. Relevantni podaci se dobijaju direktno iz IM sistema (Slika 4).



Slika 4. TIS – osnovne funkcije aplikacije TIS 2020 (Izvor: <https://rne.eu/>)

IM-ovi šalju podatke u TIS, gde se sve informacije iz različitih IM-ova kombinuju u jednu vožnju voza od polaska do konačnog odredišta. Na ovaj način voz može da se prati od početka do kraja preko granica. TIS takođe pruža podršku upravljanju performansama vozova na koridoru pružanjem informacija o tačnosti, kašnjenju i analizi kvaliteta. Železnički prevoznici i operateri takođe mogu dobiti pristup TIS-u. Sistem je već u potpunosti usaglašen sa TAF/TAP TSI i bio je, pored toga, predvodnik u smislu implementacije ovog okvira. Sistem podržava uglavnom međunarodno aktivna železnička preduzeća u upravljanju njihovim logističkim lancima i pruža podršku železničkim teretnim koridorima pružanjem odgovarajućih izveštaja za upravljanje performansama vozova. Trenutno TIS prati više od 4,7 miliona pojedinačnih vozova godišnje.

2.4. Softver za planiranje reda vožnje

Red vožnje je formalni dokument Infrastrukture železnice Srbije (IŽS) i definiše red vožnje putničkih i teretnih vozova, kao i vozova koji saobraćaju za sopstvene potrebe na javnoj železničkoj infrastrukturi. Njegov sastavni deo su stalne odrednice, koje su definisane Pravilnikom o izradi reda vožnje. IŽS trenutno izrađuje 17 redova vožnje (od kojih su dve podeljene na periode od 00.00 do 12.00 časova i od 12.00 do 24.00 časa) i 18 knjižica voznog reda. Postoje dve vrste zahteva za trase voza:

1. godišnji zahtev za dodelu trasa, ili kapaciteta železničke infrastrukture za ceo period važe-

nja Reda vožnje;

2. vanredni zahtev za dodelu kapaciteta železničke infrastrukture na kraći period za vreme važenja Reda vožnje, koji može da bude pojedinačan (ad hoc) zahtev za jednokratnu dodelu trasa za vreme važenja reda vožnje.

Postoji i nacionalni zahtev za dodelu kapaciteta železničke infrastrukture samo u Republici Srbiji i međunarodni zahtev za dodelu kapaciteta železničke infrastrukture koji istovremeno zahteva dodelu kapaciteta železničke infrastrukture u Republici Srbiji i u drugoj državi. Kriterijumi za dodelu kapaciteta propisani Zakonom o železnici striktno se i dosledno primenjuju. Ukoliko je broj zahteva za dodelu istog infrastrukturnog kapaciteta veći od dozvoljenog kapaciteta određene železničke pruge i ako se na toj pruzi, odnosno delu te pruge, proglašena infrastruktura, IŽS će, u nastojanju da dodeli trase vozova, primeniti pravila prioriteta.

Prilikom izrade reda vožnje, IŽS uzima u obzir sve primljene zahteve za dodelu kapaciteta železničke infrastrukture, uključujući sva ograničenja predviđena planovima razvoja i održavanja infrastrukture. Nacrt raspodele kapaciteta železničke infrastrukture za međunarodni saobraćaj priprema se najkasnije 11 meseci pre stupanja na snagu novog reda vožnje i usaglašava se sa stranim upravljačima železničke infrastrukture.

Nacrt raspodele kapaciteta železničke infrastrukture u vezi sa domaćim saobraćajem priprema se

Informaciono - komunikacioni sistemi u cilju eliminisanja ili smanjenja uticaja uskih grla na železnici

najkasnije šest meseci pre stupanja na snagu novog reda vožnje. Nacrt raspodele kapaciteta železničke infrastrukture objavljuje se kao Nacrt reda vožnje koji je predmet javnog uvida i otvoren je za primedbe, sugestije, predloge i mišljenja u roku od 30 dana. Svi izloženi problemi i pitanja u vezi sa predloženim redom vožnje rešavaju se u okviru koordinacije i usaglašavanja, rešavanja sporova i zagušenja železničke infrastrukture, što se mora završiti najkasnije 120 dana pre stupanja na snagu reda vožnje.

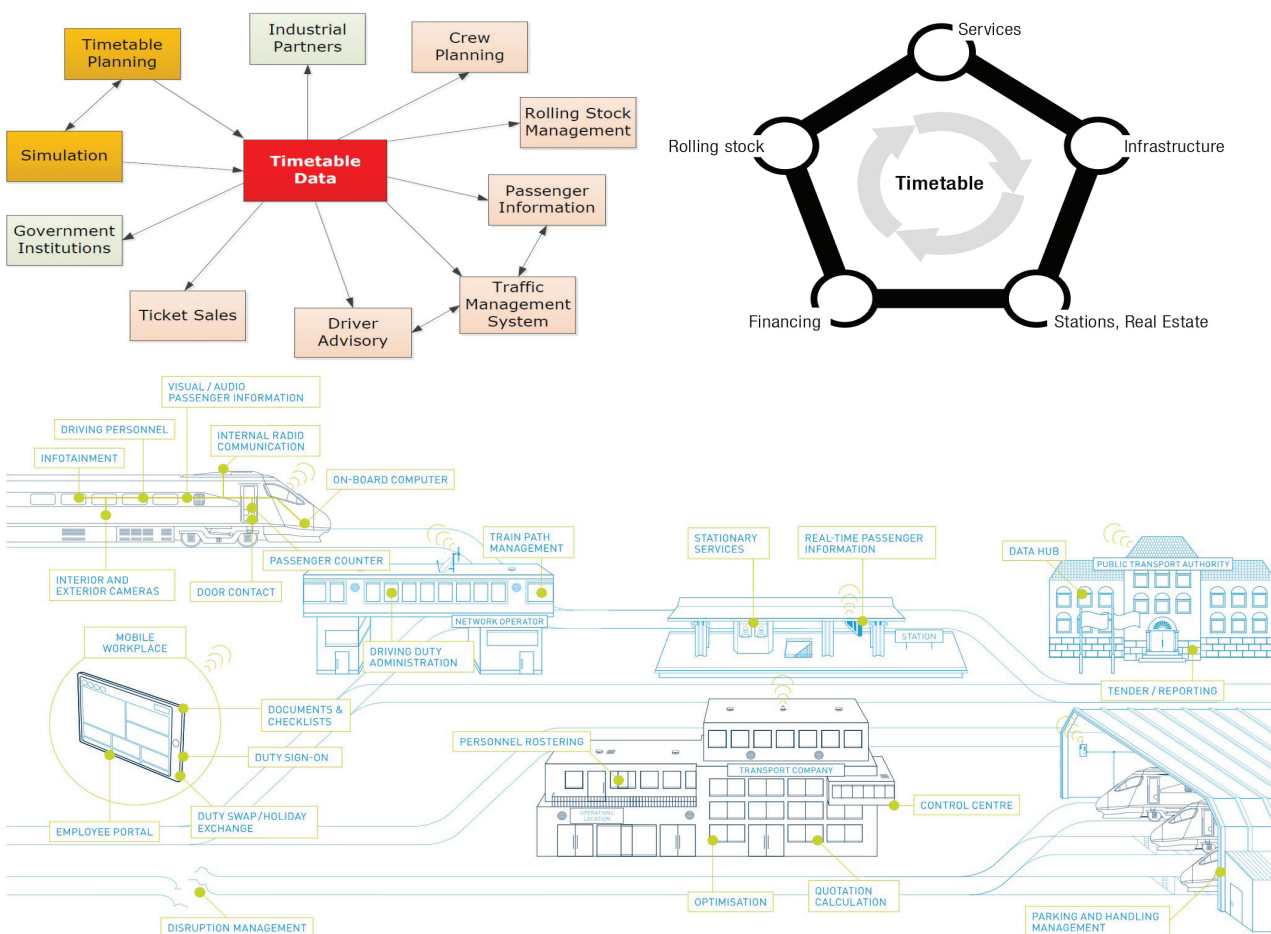
Red vožnje ima presudan uticaj na kvalitet, efikasnost i isplativost pružene železničke usluge krajnjim korisnicima. Od toga u velikoj meri zavisi i plan saobraćaja vozova i iskorišćenost infrastrukturnih kapaciteta, kao i troškovi voznog saobraćaja.

Iako su softverski paketi i modeli za optimizaciju korišćenja železničke infrastrukture i izgradnju reda vožnje dosta napredovali u poslednjih nekoliko de-

cenija, proces konstrukcije reda vožnje na železnici u mnogim zemljama Evrope još je orijentisan na ručno crtanje trase, a takva je trenutno situacija na IŽS.

Softverski paketi za planiranje reda vožnje omogućavaju vizualizaciju podataka, ubrzanje i pojednostavljenje procesa izrade reda vožnje i alokacije voznih trasa, kao i razvoj i simulaciju varijanti reda vožnje, kao i izbor najboljeg iz urađene simulacije.

Optimizacijom ovako komplikovanih procedura izgradnja redova vožnje i uvođenje odgovarajućeg softvera za planiranje, razvoj i modifikaciju redova vožnje i upravljanje infrastrukturom omogućilo bi dalje povećanje produktivnosti poslovne efikasnosti u planiranju reda vožnje (Slika 5). Softver sadrži i podržava korisničke tipove na više nivoa, što omogućava korisnicima da koriste različite funkcionalnosti na osnovu njihovih specifičnih uloga, kako bi se obezbedio najefikasniji tok posla i najveća bezbednost sistema.



Slika 5. Delovi sistema koji se mogu optimizovati specijalizovanim softverima (Izvor: sbb.ch i www.ivu.com)

Specifikacije vezane za ove sisteme obično se odnose na karakteristike/performanse hardvera (serveri, radne stanice...), komunikacione mreže, sistema i drugog softvera koji nisu sastavni deo ponuđene aplikacije, ali su od suštinskog značaja za punu funkcionalnost softvera u slučaju kako bi sistem mogao da funkcioniše u datim uslovima.

Softver može biti klijent-server ili veb-bazirano rešenje sa modernom n-slojnom arhitekturom. Sistem za planiranje reda vožnje treba da obuhvati skup alata, modula i funkcionalnosti koji će omogućiti sveukupne radove na izgradnji reda vožnje i druge operativne aktivnosti (praćenje ograničenja brzine, planiranje turnusa, proračun kapaciteta itd.). Takođe, treba da omogućí uvoz, čuvanje, prikazivanje i izvoz neophodnih podataka u postojeće baze podataka preko sopstvenih alata ili dodatnih programskih rešenja i njihovu sveobuhvatnu vizuelizaciju kroz softverski korisnički interfejs. Uz to, softver treba da bude u stanju da proizvodi i generiše Izveštaje i plansku dokumentaciju u skladu sa važećim propisima Republike Srbije.

Softver treba da bude u stanju da prikaže i analizira sledeće podatke o kapacitetu železničke infrastrukture: maksimalne dozvoljene, ograničene i privremeno ograničene brzine vozova na otvorenoj pruzi i u stanicama/stajalištima, krivinama, nagibima, otpor kretanja, procenti kočenja, način rada i regulacije voza, intervali, dužina zaustavnog puta, korisna dužina koloseka, dužina perona, vreme rada stanica. Podaci o infrastrukturi treba da budu prikazani u tabelama, kao i putem geoprostornog mrežnog prikaza. Softver treba da ima mogućnost formiranja baze podataka sa potrebnim tehničkim karakteristikama svih železničkih voznih sredstava koja saobraćaju u Srbiji, kao i mogućnost njene izmene po potrebi. Softver treba da omogućí proračun kapaciteta železničke pruge u skladu sa metodama definisanim u fišama UIC405 i/ili UIC406.

Softver treba da bude u stanju da izračuna vreme vožnje voza uzimajući u obzir tehničke karakteristike železničke infrastrukture, njeno stanje (privremena ograničenja brzine, itd.) i karakteristike železničkog voznog parka. Softver treba da omogućí izradu reda vožnje sa automatskim

proračunom svih potrebnih parametara (dolazak i polazak, vreme zadržavanja, kretanje itd.) na osnovu unetog zahteva za dodelu voznih trasa. Takođe, trebalo bi da postoji mogućnost otkrivanja konflikta između analiziranih zahteva i identifikacije uskih grla. Softver treba da omogućí prikaz radova na izradi reda vožnje u tabelarnom i interaktivnom grafičkom obliku po parametrima voza i rasporedu vožnje vozova. Softver bi trebalo da bude u mogućnosti da menja Red vožnje tokom njegovog važenja kao izmene njegovih elemenata usled vanrednih zahteva. Softver treba da ima mogućnost da simulira bilo koji konstruisani red vožnje, kako pod determinističkim uslovima, tako i korišćenjem stvarnih kašnjenja i vremena zadržavanja kao ulaznih podataka za proveru kvaliteta reda vožnje.

Softver treba da bude u stanju da generiše i štampa dokumentaciju o redu vožnje u skladu sa važećim propisima Republike Srbije (tabele redova vožnje, knjižica redova vožnje, izvodi o redu vožnje...) u sledećim formatima .doc; xls; .pdf i potrebni izveštaji - statistika u skladu sa važećim aktom za odgovarajuću oblast (voz km, bruto tona-km, dani rada itd.). Svi izlazni dokumenti moraju da omogućé prikaz po segmentima mreže, tipovima vozova i železničkim preduzećima.

3. PLANovi RAZVOJA I PRIMENE INFORMACIONO-KOMUNIKACIONIH TEHNOLOGIJA U ŽELEZNIČKOM SEKTORU U SRBIJI U NAREDNOM PERIODU

Na osnovnom nivou efikasni sistemi informaciono-komunikacionih tehnologija (IKT) pomažu da se smanji opterećenje zaposlenih za upravljanje granicom, čime se olakšavaju njihove svakodnevne dužnosti. Unapređena informaciono-komunikaciona tehnologija carinsko upravljanje takođe čini efikasnijim. Efikasnim korišćenjem sistema IKT i automatizacijom određenih funkcija, carinska uprava može da smanji stvarni obim posla. Operacije na graničnim prelazima su sada raznovrsnije nego ikad pre. Upravljanje ovakvim složenim sistemom zahteva moderne uređaje. Upravljanje velikom količinom podataka koji se danas dostavljaju može da bude teško čak i za organizacije sa najboljim rukovođenjem. Bez IKT, ovaj izazov neizbežno

postaje prevelik i nepremostiv. Čak i ako nema ozbiljnijih nedostataka u trenutnom IKT sistemu ili graničnom politikom i postupcima zemlje, sve ukupna slika možda se promenila od momenta kada je sistem instaliran. Mnogi faktori mogu dovesti do projekta potrebnog poboljšanja IKT: popunjenost radnih mesta, povećan obim posla, zakonski uslovi, povećanje složenosti ili napuštanje starog "nasleđenog sistema", su samo neki od tih faktora.

U okviru The Western Balkan Trade and Transport Facilitation Project (WBTTTF) raspisan je postupak za nabavku i instaliranje EDI sistema za železničke granične prelaze (Consultancy for Design and Supervision of Provision, Installation and Commission of Electronic Data Interchange (EDI) Systems at Rail Border Crossing Points (RBCPS) In Serbia). Naime, Propisi EU koji su trenutno na snazi zahtevaju EDI između RU-ova, menadžera infrastrukture (IM), carinskih organa kao i sa drugim vladinim agencijama. Od 2006. godine na snazi su Telematske aplikacije za teret – tehničke specifikacije za interoperabilnost (TAF TSI), Uredba EC 62/2006 koja se bavi definicijama interoperabilne razmene podataka između menadžera infrastrukture (IM) i RU-ova; propis je zakon za sve zemlje članice EU. Uredba je izmenjena Uredbom Komisije (EU) br. 328/2012 od 17. aprila 2012. godine, objavljenom u Službenom listu Evropske unije 18. aprila 2012. TAF TSI sadrži tehničke specifikacije za informacione usluge na graničnim prelazima unutar EU i EU koje se graniče sa državama koje nisu članice EU ako država koja nije članica EU prihvati uredbu. Kao zemlja kandidat za članstvo u EU, Srbija treba da osmisli rešenja za poboljšanje performansi železničkog graničnog prelaza koja su u skladu sa pravnim tekovinama EU. Napredni najsavremeniji železnički EDI zahteva visok nivo spremnosti da se nacionalno zakonodavstvo i regulatorni okviri usklade sa EU. Međunarodna integracija je glavni cilj za železnički koridor, sa punom integracijom na nivou koridora razvijenom između centara podataka uključenih aktera i ne može da se postigne na jednom graničnom prelazu. Međutim, mogući su međukoraci, posebno u oblasti elektronske razmene podataka koji omogućavaju smanjenje vremena obrade na granici, čak i bez zakonskih i regulatornih promena. Njegova primena povećala bi konkurentnost železnice u regionu Za-

padnog Balkana. Procene su da ako bi operativni ambijent u regionu dostigao prosečan nivo kao u EU, red veličine mogućih ušteda je oko 1 procenat regionalnog BDP-a ili oko 1,1 milijardu američkih dolara godišnje. [11]

Glavni potencijal uvođenja EDI na železničkim graničnim prelazima u Srbiji je u smanjenju vremena otpreme. Ovo bi omogućilo da se poruke pre odobrenja u elektronskom formatu automatski generišu kada je voz na ruti. To bi se odnosilo na zahteve za lokomotive i primopredaju vozova, kao i elektronski prenos svih potrebnih komercijalnih i vozničkih dokumenata. To bi svelo na minimum papirologiju koju bi trebalo fizički nositi i čiji gubici često dovode do kašnjenja. Projekat implementacije EDI u Srbiji počinje u 2023. godini a završetak je predviđen za 2025. godinu.

Softver za planiranje reda vožnje: U toku 2023. godine sprovodi se postupak nabavke „Procurement of Software for Timetable Construction“ za potrebe Infrastrukture železnice Srbije. Nabavka ima za cilj uvođenje softvera za izradu reda vožnje i omogućavanje automatizacije i digitalizacije ovog procesa u okviru IŽS. Planirana je nabavka, instalacija, testiranje i puštanje u rad savremenog softvera za izradu rasporeda i relevantnih operativnih procedura. Cilj je nabavka: trideset (30) radnih stanica za personalne računare, dva (2) servera i trideset (30) licenci za softver za izradu reda vožnje sa dvogodišnjom pretplatom. Sa rokom od 1 godine očekuje se da će ovaj sistem početi da se koristi od 2025. godine.

4. PRIMENA INOVATIVNIH INFORMATIVNO KOMUNIKACIONIH TEHNOLOGIJA U SRBIJI U NAREDNOM PERIODU

U toku je izgradnje pruge za velike brzine od Beograda do Budimpešte za koji je predviđeno opremanje sistemom ETCS Level 2. Projektom je predviđeno uvođenje sistema ETCS i GSM-R komunikacije. Taj koncept se već primenjuje na izgrađenoj deonici Beograd – Novi Sad. Možemo da očekujemo da završetkom izgradnje pruge za velike brzine ka Budimpešti granični prelazi budu uključeni u GSM-R što će omogućiti olakšanu komunikaciju svih aktera.

Tokom 2023. godine EBRD je u odobrio zajma do 5 miliona evra Republici Severnoj Makedoniji (projekat „Rail Joint Border Crossing – Tabanovce“, <https://www.ebrd.com/work-with-us/projects/psd/54676.html#>) za finansiranje zajedničke železničke granične stanice u Tabanovcima, na granici između Severne Makedonije i Srbije, na železničkom Koridoru X, koji je deo proširenja TEN-T mreža na zapadni Balkan. Sredstva su finansirala nadogradnju postojećih zgrada železničkih stanica i izgradnju dodatnih novih zgrada uključujući pristupni put od oko 500m. Ključni cilj Projekta je smanjenje kašnjenja na granicama i skraćivanje procedura prelaska granice olakšavanjem prolaska granice na jednom mestu ('one stop'). Deljenje novih objekata između osoblja dve zemlje doprineće optimizaciji procedura granične i carinske kontrole, što će neminovno da dovede do efikasnijeg, olakšanog i bržeg rada između različitih zainteresovanih strana uključenih u transportni proces u zajedničkoj stanici.

Kroz implementaciju savremenih IT i komunikacionih rešenja koja se očekuju ili su već toku (postupak nabavki softvera za izradu reda vožnje, EDI sistema, ETCS GSM-R sistema), čime se stiče mogućnost za direktno uključivanje u razmenu podataka sa svim akterima na tržištu EU, značajno će da se modernizuje železnički sistem ali i da se skрати vreme potrebno za komunikaciju i razmenu podataka u okviru prekograničnih procedura kod železničkog robnog transporta. Može da se očekuje da će ovi navedeni koraci i postupci imati značajan uticaj na eliminisanje i smanjenje uticaja sledećih uska grla koja su povezana sa IT i komunikacionim sistemima:

- tehnološka zastarelost sistema za komunikaciju između učesnika,
- nedostatak adekvatnih informacionih sistema koji omogućavaju praćenje zauzetosti resursa i kapaciteta graničnih i usputnih tehničkih i međustanica,
- nedostatak adekvatnog informacionog sistema za generisanje redova vožnje,
- neintegrisanost u evropske, regionalne informacione platforme za železnički saobraćaj,
- nemogućnost dela prevoznika i korisnika da u realnom vremenu prate lokaciju lokomotive/voza.

5. ZAKLJUČAK

Eliminisanjem ili smanjenjem uticaja uskih grla, preduzimanjem odgovarajućih mera i uvođenjem odgovarajućih rešenja, transportni sistem postaje efektivniji i efikasnije odgovara zahtevima privrede a time utiče i na uspešniju realizaciju privrednih aktivnosti.

Najzahtevnija, a time i najskuplja, rešenja za otklanjanje uskih grla su ona koja zahtevaju izvođenje građevinskih radova (projektovanje, eksproprijacija, građenje itd.). Zavisno od vrste uskog grla manje zahtevnije su investicije u opremu (ne uvek!). Značajno manje zahtevnija, a time obično i dosta jeftinije, su mere i rešenja organizacione prirode. Međutim, što je veći sistem, naročito kada su institucionalni sistemi u pitanju, preduzimanje organizacionih mera i rešenja za otklanjanje uskih grla može da bude veoma spor proces. Činjenica je da je Evropska unija donela i sprovela značajne mere i rešenja u otklonjanju uskih grla u transportnom lancu unutar svojih granica. Republika Srbija kao kandidat za članstvo u EU sprovodi značajan deo tih rešenja, uglavnom u pravnom segmentu. Svakako, da u prethodnom periodu nije bilo moguće sprovesti sve te mera i sva ta rešenja u saobraćajnom sistemu Republike Srbije u celosti. Shodno sve zahtevnijim potrebama privrede u odnosu na efikasnost transportnog procesa kao i aktuelnim događanjima u EU i okruženju, pritisci za prilagođavanje saobraćajnog sistema Republike Srbije sistemu EU biće sve veći.

Ovaj rad identifikuje moguća rešenja informaciono-komunikacionih sistema koji bi mogli da utiču na eliminisanje ili smanjenje uticaja uskih grla u transportnom procesu. Svakako da njihovu implementaciju moraju da prate i odgovarajuće mere normativne i organizacione prirode a njihovo definisanje predstavljaće sledeći izazov autora.

ZAHVALNICA

Istraživanja u ovom radu realizovana su uz finansijsku podršku projekta „Razvoj i implementacija održivih saobraćajno – transportnih i logističkih tehnologija u nastavi i praksi“ koji se realizuje na Departmanu za saobraćaj Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu.

LITERATURA

- [1] Republički zavod za statistiku: Bilten – Saobraćaj i telekomunikacije u Republici Srbiji 2023, 711, Beograd 2024 .
- [2] Projekat za modernizaciju, rekonstrukciju i izgradnju železničke pruge Beograd-Subotica-državna granica (Kelebija), deonica Novi Sad - Subotica - državna granica (Kelebija), projekat za građevinsku dozvolu, Saobraćajni institut CIP, d.o.o. Beograd, maj 2021. godine: Sveska 8/1.4. Projekat tehnologije i organizacije saobraćaja Čvor Subotica, br. 2020-250-ETS-8/14
- [3] A Roadmap for Digital Railways, https://uic.org/com/IMG/pdf/a_roadmap_for_digital_railways.pdf
- [4] Project STAFFER: Skills Training Alliance for the Future of European Rail, <https://www.railstaffer.eu/>
- [5] Banduka, V.: Principi regulisanja saobraćaja na pruzi Beograd - Novi Sad, Železnice, Vol. 68, br. 2, str. 78–93, Beograd, Decembar 2023.
- [6] Transport Division ESCAP: Electronic Information Exchange Systems in Rail Freight Transport, Study, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, United Nations, 2018.
- [7] Rail electronic data interchange in a border crossing point in South East Europe - an assessment of options, The World Bank, <https://documents1.worldbank.org/curated/ru/747241468147294236/pdf/P147737-AAA-Final-Output.pdf>
- [8] <https://rne.eu/it/taf-tap-tsi/>
- [9] Regulation (EC) No 1371/2007 of the European Parliament and of the Council: on rail passengers' rights and obligations, 23 October 2007.
- [10] Alpine-Western Balkan Rail Freight Corridor 10 (AWB RFC): Capacity Improvement and Operational Bottleneck Study, Prometni institut Ljubljana d. o. o, https://www.rfcawb.eu/wp-content/uploads/2019/02/AWB-RFC-Bottleneck-study_final.pdf
- [11] INPUTTRANS: Studija o inovativnim rešenjima za otklanjanje ili smanjenje uticaja uskih grla u prevozu putnika i robe železničkim saobraćajem između Republike Srbije i Republike Mađarske, HUSRB/1903/22/0121, 2023.

STRAHINJA OGNJANOVIĆ*, SANJIN MILINKOVIĆ, PREDRAG JOVANOVIĆ

ETCS KRIVE KOČENJA ETCS BRAKING CURVES

Datum prijema rada: 20.9.2024. god.
Datum prihvatanja rada: 29.10.2024. god.
UDK: 656.2:629.4+656.2:654.9

REZIME:

Železnica čini osnovu transportne mreže jedne zemlje, omogućavajući siguran i efikasan prevoz putnika i robe, uz prilagodljivost različitim potrebama. Kompleksnost železničkog sistema zahteva formiranje precizno definisanih parametara koji će osigurati bezbednost u saobraćaju. Izazov leži u velikom broju železničkih sistema i pravila koji se razlikuju od države do države. Rešavanje ovakvih izazova dovelo je do formiranja tehničkih specifikacija interoperabilnosti. Tehničke specifikacije interoperabilnosti obezbeđuju ukidanje barijera radi lakšeg kretanja među državama, a u smislu unifikacije signalizacije kontrole i upravljanja. Značajan segment koji se unapređuje jeste kontrola kretanja vozova. Opšte karakteristike su definisane unutar seta "Subset 026", time se postavlja osnov za kontrolu kretanja vozova. Izvršena je osnovna podela na vozove fiksnih kompozicija pod nazivom Gamma, kao i vozove varijabilnih kompozicija pod nazivom Lambda. Ove postavke se primenjuju i u Srbiji izgradnjom međunarodne pruge (Beograd Centar) – Stara Pazova – Novi Sad – Subotica – državna granica – (Kelebia). Na osnovu tehničkih specifikacija interoperabilnosti izvršen je prikaz novog sistema kontrole. Sistem se bazira na takozvanim krivama kočenja.

Ključne reči: krive kočenja, ETCS, simulacija, Lambda vozovi, Gamma vozovi

SUMMARY:

The railway is a fundamental part of a country's transportation network, ensuring safe and efficient transport of passengers and goods while meeting various needs. The complexity of the railway system requires the establishment of precisely defined parameters to ensure traffic safety. The challenge lies in the large number of railway systems and regulations that differ from country to country. Addressing these challenges has led to the development of Technical Specifications for Interoperability. The Technical Specifications for Interoperability ensure the removal of barriers for easier movement between countries, in terms of the unification of signaling, control, and management. A significant segment being improved is train movement control. General characteristics are defined within the "Subset 026," thereby setting the foundation for train movement control. A fundamental classification has been made, distinguishing between fixed-composition trains called Gamma and variable-composition trains called Lambda. These principles are also applied in Serbia with the construction of the international railway line (Belgrade Center) – Stara Pazova – Novi Sad – Subotica – state border – (Kelebia). Based on the Technical Specifications for Interoperability, a new control system has been introduced. The system is based on so-called braking curves.

Keywords: Braking curves, ETCS, Simulation, Lambda trains, Gamma trains

*Strahinja Ognjanović, Saobraćajni institut CIP, Beograd, Nemanjina 6, strahinja.ognjanovic@sicp.co.rs

1. UVOD

Železnica kakvu danas poznajemo u mnogome se razlikuje od železnice iz prošlog veka. Veoma značajan deo železničkog sistema su signalno-sigurnosni uređaji, koji vrše prikupljanje i razmenu podataka od i ka pruži, u vezi sa putevima vožnje, zauzećem koloseka i signalizacijom.

Svrha signalno-sigurnosnih uređaja je pre svega namenjena bezbednosti celokupnog sistema. Bezbednost na železnici dobija novu dimenziju primenom savremenih signalno-sigurnosnih uređaja. Krive kočenja su značajan segment jednog od savremenih sistema, a to je Evropski sistem kontrole vozova (European Train Control System - u daljem tekstu ETCS). ETCS je deo Evropskog sistema upravljanja železničkim saobraćajem (European Rail Traffic Management System - u daljem tekstu ERTMS), i predstavlja jedan od najvećih projekata Evropske unije. Osnovni zadatak Evropskog sistema upravljanja železničkim saobraćajem jeste interoperabilnost železničkog sistema Evrope [1].

Osnovni delovi ERTMS su ETCS kao što je gore navedeno, i globalni sistem za mobilne komunikacije - Železnica (Global System for Mobile Communications Railway - u daljem tekstu GSMR).

GSMR predstavlja projekat Evropske integrisane železničke radio poboljšane mreže (European Integrated Railway Radio Enhanced Network - u daljem tekstu EIRENE). GSMR služi kako za govornu komunikaciju tako i za prenos podataka između sistema duž pruge i voza.

Sam ERTMS nastao je kroz projekat osam članica Evropskog udruženja železničke industrije (Union des Industries Ferroviaires Européennes).

Analize koje su vršene pre samog uvođenja ETCS sistema, ukazale su na veliku brojnost različitih sistema koji su ograničavajući faktor. Postavljeno je pitanje, šta je neophodno učiniti kako bi se izvršila unifikacija železnickog sistema. Iz ova je proizašlo formiranje takozvanih tehničkih specifikacija interoperabilnosti (Technical specification for interoperability - u daljem tekstu TSI). Pojam interoperabilnosti definisan je Zakonom o

interoperabilnosti železničkog sistema, u kome se železnički sistem definiše kao celina koja obuhvata funkcionalne i strukturne podsisteme, upravljanje i eksploataciju [2].

Jedna oblast stukturnih podsistema jeste kontrola, upravljanje i signalizacija (Control Comand and Signaling - u daljem tekstu CCS). CCS sastoji se iz dva dela, i to dela koji je vezan za prugu i dela koji je vezan za vozna sredstva.

Kako bi sam TSI bio preopširan formiran je takozvani bejslajn (baseline) koji predstavlja skup više dokumenata koji jasno definiše svaki segment određenog TSI. Jedan TSI sastoji se od mandatornih i informativnih specifikacija, i oni su organizovani u posebne dokumente. Najčešći naziv za pojedinosti kojima se bave je podskup (Subset). Unutar Subset-a postoje precizno definisana poglavlja koja definišu krive kočenja, koja se primenjuju u našoj zemlji [2].

2. KRIVE KOČENJA

Pre svega, neophodno je naglasiti da komandni, kontrolni i signalni sistem ne koči, on zapravo nije odgovoran za kočioni sistem voza, koji će odraditi celokupan posao.

ETCS kao i neki drugi sistemi vrše nadzor nad pozicijom i brzinom voza kako bi se obezbedilo da oni konstantno ostanu u dozvoljenim granicama brzine i pređenog puta. U slučaju da je neophodno, određenom komandom aktiviraće se kočioni sistem kako bi se blagovremeno izbegla bilo kakva vrsta rizika od prekoračenja pomenutih parametara. Kako bi ovakva vrsta sistema funkcionisala ETCS sistem unutar vozila mora predvideti buduće profile usporenja voza (koji slede duž zaustavnog puta). Ovakva predviđanja formiraju se na osnovu matematičkog modela kočenja voza, kao i karakteristika pruge koja sledi. Predviđanja obaranja brzine nasuprot pređenom putu, naziva se kriva kočenja.

Implementacija sistema ETCS dovodi do upotrebe krivih kočenja. Da bi ovakav sistem funkcionisao neophodno je u potpunosti uskladiti krive kočenja. Sam proces harmonizacije je težak, jer je neophod-

no jasno definisati odgovornost između upravljača infrastrukture i korisnika.

Dodatne prepreke predstavljaju postojeći sistemi kontrole, komande i signalizacije, koji su razvijani na nacionalnom nivou. Nacionalni sistemi su razvijani na bazi različitih razmišljanja o upravljanju brzinom kao i rastojanjem. Ovo znači da svaka zemlja ima svoju politiku upravljanja bezbednošću, takođe svaka zemlja formira bezbednosne zahteve, što dalje upućuje na veliki broj varijanti.

Takođe, unutar pojedinih zemalja nisu jasno definisane bezbednose granice između infrastrukture i vozila.

Svi navedeni problemi moraju biti prevaziđeni kako bi se napravio raskorak ka unificiranoj kontroli brzine i distance. Da bi se izvršila unifikacija neophodno je:

- da krive kočenja budu u potpunosti predviđene;
- da se bezbednosne margine, koje direktno utiču na nivo pouzdanosti krivih kočenja, moraju nedvosmisleno podeliti između upravljača infrastrukture i korisnika.

ETCS specifikacije bejslajn 2 sadrže osnovne principe krivih kočenja kao i informacije koje se prikazuju mašinovođi. Međutim nije prikazan harmonizovan metod, odnosno algoritam kako bi ih trebalo izračunati.

Usled navedenog nastali su sledeći problemi:

- Usled nedostatka ograničenja, algoritmi ETCS koji su bili ugrađeni od strane nekih proizvođača vodili su ka različitim krivama kočenja za različiti tip vozila. Ovakav vid je ugrožavao projektovanje same infrastrukture, zbog toga što ona više nije zavisila od samih kočionih karakteristika vozila već i od samog sistema ETCS.
- Za međunarodne vozove, razlike u nacionalnim pravilnicima/praksama zahtevaju implementaciju ETCS na vozilu sa nekoliko različitih profila krivih kočenja. Ovo znatno povećava troškove, kao što su dizajn softvera, međugranični testovi, unapređenje softvera kao i svaka promena u nacionalnim pravilnicima.

Nakon dugog niza godina, formirana je stabilna konstrukcija koja se nalazi u tehničkim specifikacijama bejslajn 3.6. Subset 026, koji sadrži najkorisnije informacije i one su mandatorne.

Kriva kočenja koja je povezana sa usporenjem u slučaju opasnosti na grafikonima predstavljena je oznakom EBD (Emergency Brake Deceleration). Svaku specifičnu lokaciju datu od strane ETCS pružnog dela, koristi oprema ETCS na vozilu kako bi se u potpunosti izračunale krive kočenja, koje zavise i od karakteristika voza i od karakteristika pruge. Oblik EBD krive kočenja variraće u zavisnosti od tipa kola. Što je sistem kočenja manje efikasan, to će EBD kriva kočenja da bude na većem delu horizontalna, odnosno predstavljena sa blažim padom.

ETCS oprema više puta u toku jedne sekunde u realnom vremenu proračunava dužinu koja je neophodna da bi se voz zaustavio ili usporio, od trenutka zadavanja komande kočenja, od strane ETCS opreme unutar voza. Da bi sve navedeno bilo postignuto potrebno je pretpostaviti najgori mogući slučaj:

- dinamiku voza pre nego što je dostignut pun kapacitet kočnice, uključujući i izmereno ubrzanje;
- na stvarnu brzinu voza neophodno je dodati određeni procenat nepreciznosti tokom merenja brzine (definisano i u Subset 041).

Uključivanjem ovih parametara dobijaju se rastojanja, odnosno lokacija na kojoj će da se aktivira kočnica, odnosno lokacija pri kojoj će ETCS da aktivira kočnicu. Pomenuta radnja naziva se intervencija kočnice u slučaju opasnosti, prikazana unutar grafikona Subset-a kao EBI (Emergency brake intervention). EBI je zapravo trenutak u kome će ETCS sistem da signalizira aktivaciju kočionog sistema. Kao što je već pomenuto, kočenje kasnije zavisi samo od pouzdanosti sistema unutar železničkog vozila. Kriva kočenja EBD i sam trenutak intervencije EBI zajedno formiraju takozvani "padobran".

Termin padobran u ovom kontekstu označava preventivnu reakciju signalno-sigurnosnih uređaja (u daljem tekstu SS uređaji), kako bi se sprečilo

prekoračenje brzine kao i prolazak kroz određenu tačku neovlašćeno. Termin se ne odnosi na konvencionalne železničke sisteme zaštite, a razlog za to je što se SS uređaji aktiviraju tek nakon prolaska vozila određenog signala, ovo bi značilo da se takozvani padobran otvara preblizu zemlje.

Kako bi, takozvani padobran funkcionisao u potpunosti, ETCS mora da obezbedi unapred pripremljene informacije koje su vezane za kočenje. Svrha ovoga je da pomogne mašinovođi, kao i da mu omogući da vozi sigurno i bez stresa, a da pri tome održava brzinu voza u predviđenim granicama.

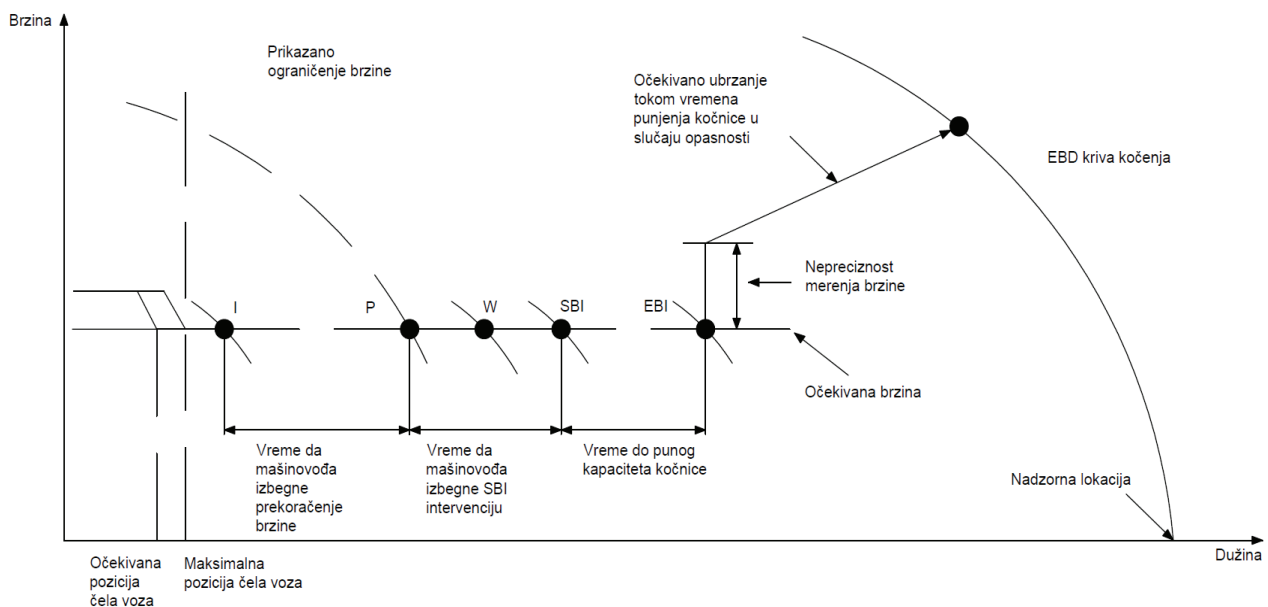
Pored spomenutog EBI, koji predstavlja trenutak aktiviranja kočnice u slučaju opasnosti, postoji i trenutak intervencije radne kočnice prikazan kao SBI (Service brake intervention). Aktivacija SBI je vezana za krivu kočenja radne kočnice SBD (Service brake deceleration), naravno u slučaju da je implementirana unutar ETCS opreme na vozilu. U slučaju da se EBD kriva javlja pre same krive SBD, što je teoretski izvodljivo, proračun SBI će se izvršiti za krivu kočenja koja je bliža. Međutim u stvarnosti to će da bude drugačije. U slučaju da se dobije ovakav proračun sama opcija aktiviranja

radne kočnice neće da bude implementirana.

2.1. Savetovanje mašinovođe

Dalja ograničenja, odnosno lokacija nadzora, koja nisu vezana za aktivaciju već služe kao upozorenja koja nagoveštavaju da će doći do aktivacije određenog tipa kočenja su indikacija prikazana kao I (Indication). Od trenutka indikacije mašinovođa ima dovoljno vremena da pokrene radnu kočnicu kako vozilo ne bi prekoračilo dozvoljenu brzinu, prikazanu kao P (Permitted speed). Bez indikacije I mašinovođa ne bi mogao da uskladi brzinu bez prekoračenja uslova P. U slučaju da mašinovođa prekorači i uslov P, ostavlja se dovoljno vremena da mašinovođa ponovo aktivira radnu kočnicu kako se ne bi dostigla granica EBI ili SBI, odnosno automatsko kočenje od strane ETCS komande (Slika 1).

Nakon što je prekoračen uslov P, javlja se dodatni zvučni signal W (Warning), koji dodatno upozorava mašinovođu. Ovo predstavlja poslednji prag tolerancije nakon koje mašinovođa ima još svega par sekundi da aktivira kočnicu, a u suprotnom ona će sama da se aktivira.



Slika 1. Prikaz celokupnog procesa kočenja od strane ETCS sistema [3]

ETCS računar ima obavezu da konstanto prikazuje dozvoljenu brzinu mašinovođi, odnosno P. Pri-

kaz ograničene brzine na slici 1. označava krivu ograničenja brzine, ali to u stvarnosti ne izgleda

tako zato što oprema unutar vozila nikada ovu krivu ne proračunava u potpunosti jer se parametri konstantno menjaju. Da bi bilo razmuljivije, sve "krive" upozorenja, odnosno savetovanja mašinovođe, bi na neki način trebalo da predstavljaju tačku, odnosno jedan trenutak kada bi trebalo da se javi, a u odnosu na glavnu krivu kočenja, koja zaista to i predstavlja. To su dve krive i to EBD i SBD.

2.2. Prikaz konvencionalnog i ETCS sistema

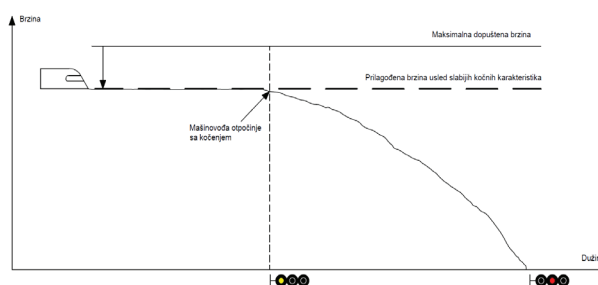
Danas gotovo sve železnice koriste optičke signale. Ovakav način bazira se primarno na posmatranju signala od strane mašinovođe. Signali upozoravaju ili zahtevaju od mašinovođe da otpočne sa kočenjem u odgovarajućem momentu kako bi uspeo da zaustavi voz na za to predviđenom mestu.

Signali se na osnovu navedenog ugrađuju tako da odgovaraju kočnim performansama određenog tipa vozila na određenoj liniji, uključujući nagibe i bezbednosne granice.

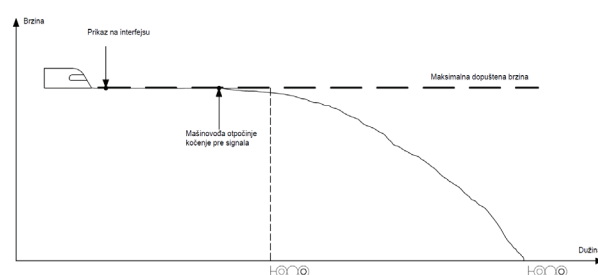
Kada vozovi sa slabijim karakteristikama kočenja (teretni) moraju da saobraćaju na linijama koje su predviđene za vozove boljih kočionih karakteristika, mašinovođa unapred dobija instrukcije, da saobraća nižom brzinom nego što je maksimalno dopuštena, sa razmišljanjem da je tačka od koje voz mora da otpočne kočenje ista za sve tipove vozila. Zaključak svega je taj da je pri konvencionalnom sistemu signalizacije unapred određena lokacija od koje voz otpočinje kočenje, pri čemu je brzina prilagođena usled kočionih karakteristika voza.

Primenom ETCS sistema nivoa 2 situacija je suprotna, brzina kojom se voz kreće je konstantna, dok je mesto otpočinjanja kočenja prilagođeno u zavisnosti od performansi voza. Implementacijom ovog sistema mašinovođa dobija informacije unutar voza, koje se kompjuterski proračunavaju uz pomoć opreme.

Slika 2. i slika 3. prikazuju razlike između konvencionalnog sistema i ETCS sistema nivoa 2.



Slika 2. Konvencionalni sistem signalizacije



Slika 3. ETCS nivo 2 sistem signalizacije

Razlika u sistemima je evidentna. Primenom ETCS nivoa 2, mogućnost kretanja maksimalnom brzinom je po pitanju kočenja ispunjena. Kočenje će se izvršiti blagovremeno, bez upotrebe velike sile kočenja [4].

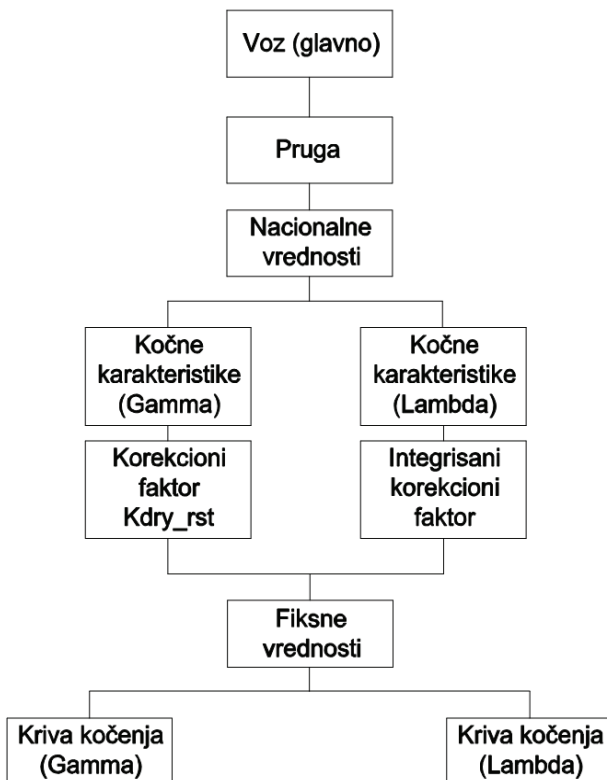
U oba slučaja postoje granične vrednosti nakon kojih će sistem sam početi da koči voz. Premda je kod konvencionalnog sistema to jasno definisano dijagramom kočenja za različite režime vožnje. Rezultat kod primene konvencionalnog sistema osiguranja je da nema mnogo odstupanja, i da su pravila ista za sva železnička vozila. Primenom ETCS nivoa 2. opreme to je drugačije i krive kočenja variraju od tipa do tipa železničkog vozila. Značajnu ulogu imaju ranije pomenuti nivoi upozorenja pre samog trenutka prisilnog kočenja. Za sva upozorenja postoje pravila kada se i kako javljaju, a neka su i opcionalna.

3. ERA KRIVE KOČENJA - SIMULACIONI MODEL

Evropska železnička agencija (European Union Agency for Railways - u daljem tekstu ERA) je razvila simulacioni model "ERA braking curves tool" pomoću kog se mogu izračunati ETCS krive kočenja za različite kategorije vozova, pri različ-

tim parametrima koji se javljaju duž pruge [5]. Osnovna podela koja je napravljena jeste podela na vozove fiksnih kompozicija (sastava) kao i vozove varijabilne kompozicije. Vozovi fiksne kompozicije nazvani su “Gamma vozovi”, dok su vozovi varijabilne kompozicije nazvani “Lambda vozovi”. Razlika između ovih tipova je u tome što Gamma vozovi koriste unapred implementirane profile za proračun kočenja, dok se za Lambda vozove koriste konverzioni modeli koji na osnovu procenta kočenja i pomenutih algoritama vrše proračun kočenja, odnosno krive kočenja [6].

Cilj simulacionog modela je da izračuna krive kočenja EBD, SBD i pridružene krive EBI i SBI. Takođe, računa upozorenja, odnosno savetovanje mašinovođe, indikaciju, dozvoljenu brzinu, zvučno upozorenje, u skladu sa karakteristikama koloseka i voza relevantnim za funkcionalnost kočionih krivih. Na slici 4. prikazan je algoritam simulacionog modela.



Slika 4. Algoritam ERA simulacionog modela

Unutar dela “Voz” unose se osnovne karakteristike voza, nakon toga nalaze se podaci o pruzi u delu

“Pruga” kao što su: nagib, dužina deonice i slično. Nacionalne vrednosti predstavljaju ograničenja koja variraju u zavisnosti od države u kojima se vrši ispitivanje, ovo se odnosi na nacionalne zakone i pravilnike koji su u upotrebi. Kočne karakteristike se dele na Lambda i Gamma vozove i njihove karakteristike. Korekcionni faktori formiraju se iz bezbednosnih razloga posebno za oba tipa. Na samom kraju vrši se proračun krivih kočenja i vizuelni prikaz, na osnovu informacija iz Subset-a 026. U nastavku ovog rada biće detaljno prikazan svaki segment simulacionog modela prikazanog u algoritmu (Slika 4).

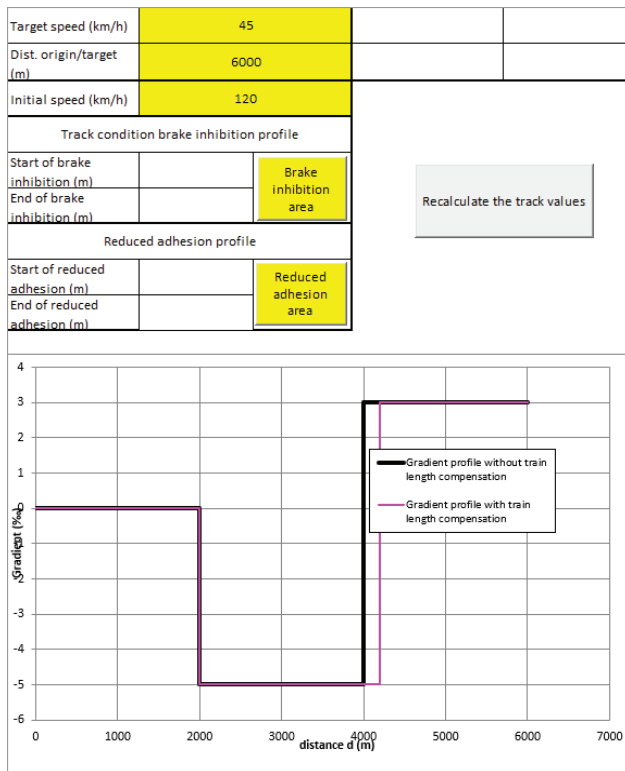
Deo “Voz glavno” predstavlja deo u kom se unose osnovne karakteristike voza (Slika 5).

Train type	<input checked="" type="radio"/> Gamma train <input type="radio"/> Lambda train	
Brake position	<input checked="" type="radio"/> Passenger train in P <input type="radio"/> Freight train in P <input type="radio"/> Freight train in G	
Traction model: T_traction_cut_off (seconds)	2	
Service brake interface ?	<input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/> Yes	
Traction cut off interface ?	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Yes	
Special/additional brake independent from wheel/track adhesion?	<input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/> Yes	
Speed inaccuracy (%)	<input type="radio"/> Fixed (Enter) <input checked="" type="radio"/> Subset-041	
Position inaccuracy (m + %)	5	<input type="radio"/> Abs. value + <input checked="" type="radio"/> Rel. value <input type="radio"/> Subset-041
Train length (m)	200	<input type="text"/>
Nominal rotating mass (%)	10	<input checked="" type="radio"/> Fixed (Enter) <input type="radio"/> Unknown
Distance antenna - train front (m)	7,81	

Slika 5. Voz glavno

Train type označava odabir tipa voza, izbor se sastoji iz Lambda ili Gamma voza. Brake position predstavlja vrstu kočenja, odnosno kočenje brzog ili sporog dejstva, T_traction cut off je vreme od trenutka prekida vučne sile do trenutka kada je vučna sila jednaka nuli, vrednost je potrebno uneti u sekundama. Service brake interface predstavlja prikaz aktiviranja radne kočnice. Special brake predstavlja dodatne kočnice. Speed inaccuracy predstavlja nepreciznost merenja trenutne brzine i definiše se u odnosu na Subset 041. Position inaccuracy predstavlja nepreciznost merenja trenutne pozicije, odnosno lokacije voza. Train length predstavlja dužinu voza. Nominal rotating mass predstavlja nominalnu rotacionu masu. Distance antenna train front predstavlja udaljenost čela voza od uređaja, odnosno ETCS opreme na vozilu, koja prikuplja podatke. Acceleration predstavlja trenutno ubrzanje koje postoji od trenutka aktivacije kočnice do trenutka formiranja potpunog kapaciteta kočnica.

U delu "Pruga" bitno je prethodno objasniti oznake EOA, LOA i SVL, koji su od vitalnog značaja za proračun. EOA (End of Authority) predstavlja ograničenje daljeg kretanja voza i nakon ove tačke vozu neće biti dozvoljeno dalje kretanje. LOA (Limit of authority) označava ograničenje ovlašćenja koje voz mora poštovati do sledeće tačke, bilo da je to veća brzina, ponovo manja ili zaustavljanje. SVL (Supervised Location) predstavlja put pretrčavanja. Initial speed predstavlja brzinu kojom voz otpočinje kočenje, a Dist.origin predstavlja dužinu trase. Target speed predstavlja krajnju brzinu, koja je u slučaju EOA automatski jednaka nuli, dok je za LOA dozvoljen unos vrednosti brzine. Track condition inhibition dnosi se ona delove pruge koja nije elektrificirana ili na upotrebu određenog tipa kočnice i inhibiciju. Reduced adhesion profile predstavlja redukovane adhezione karakteristike na određenom delu pruge. Relocation balises distance from origin predstavlja poziciju baliza od početka ka kraju pruge. Location accuracy predstavlja preciznost samih baliza prilikom očitavanja, što je takođe propisano u Subset-u 026. Gradient profile predstavlja osnovne karakteristike pruge (Slika 6).



Slika 6. Karakteristike pruge

Nakon unosa određenih vrednosti iscrtava se uzdužni profil voza (Slika 7).

Relocation balises Distance from origin (m)	Location accuracy (m)	Gradient profile	
		d (m)	Gradient G (‰)
0	0		
1500	0	0	0
3000	0	2000	0
4500	0	2000	-5

Slika 7. Uzdužni profil pruge i pozicija baliza

Deo "Nacionalne vrednosti" omogućavaju unos samo određenih parametara, kao što je implementacija nadzora ciljne brzine radi upotrebe radne kočnice, dozvola da se isključi kompenzovanje izmerene nepreciznosti brzine, kao i unos vrednosti maksimalnog usporenja voza u uslovima smanjene adhezije (Slika 8).

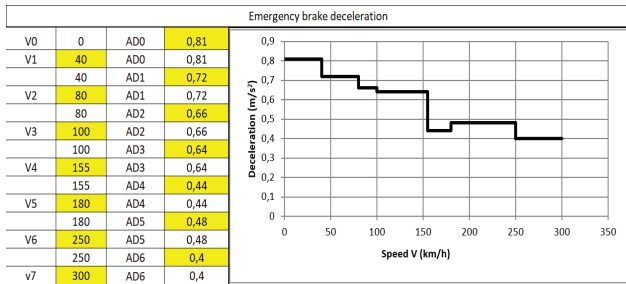
Permission to use service brake in target speed monitoring	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No		Q_NVSBTSMIPERM	Yes
Permission to use the guidance curve	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No		Q_NVGUIPERM	No
Permission to inhibit the compensation of the speed measurement inaccuracy	<input checked="" type="radio"/> Yes <input type="radio"/> No		Q_NVINHSMICPERM	No
Maximum deceleration value under reduced adhesion conditions(1)	0,45	m/s ²	A_NVMAXREDADH1	1
Maximum deceleration value under reduced adhesion conditions(2)	0,45	m/s ²	A_NVMAXREDADH2	0,7
Maximum deceleration value under reduced adhesion conditions(3)	0,45	m/s ²	A_NVMAXREDADH3	0,7
Weighting factor for available wheel/rail adhesion	0		M_NVAVADH	0
Confidence level for emergency brake safe deceleration on dry rails	99,9900000	%	M_NVBECL	99,9999999
Train length step used for the correction factor Kr_int	See sheet "Integrated correction factors"		L_NVKRINT	N/A
Train length dependent correction factor Kr_int	See sheet "Integrated correction factors"		M_NVKRINT	0,9
Speed step used for the correction factor Kv_int	See sheet "Integrated correction factors"		V_NVKVINT	N/A
Speed dependent correction factor Kv_int	See sheet "Integrated correction factors"		M_NVKVINT	0,7
Correction factor to brake build up time	See sheet "Integrated correction factors"		M_NVKTINT	1,1
Lower deceleration limit to determine the set of Kv to be used	See sheet "Integrated correction factors"		A_NVLP12	N/A
Upper deceleration limit to determine the set of Kv to be used	See sheet "Integrated correction factors"		A_NVLP23	N/A

Slika 8. Nacionalne vrednosti

Pored stavki navedenih u algoritmu postoje i fiksne vrednosti koje su propisane unutar TSI, a tiču se određenih graničnih vrednosti koje se koriste za interpolaciju vrednosti koje su usko vezane za krive I, P, W, SBI, i EBI. Jedan primer bi bili parametri dv_ebi_min koji predstavlja minimalnu vrednost aktivacije EBI i dv_ebi_max koji predstavlja maksimalnu vrednost aktivacije EBI. Minimalna vrednost je 7.5 km/h dok je maksimalna vrednost 15 km/h, u odnosu na referentnu vrednost brzine.

Ovo se odnosi na prekoračenje maksimalno dozvoljene brzine. U zavisnosti od brzine kretanja voza izvršiće se interpolacija i dobijena vrednost primeniće se unutar sistema kao referentna.

Deo “Kočne karakteristike” predstavljaju bitnu stavku i posebno se određuju za Gamma, i posebno za Lambda tip voza (Slika 9).



Slika 9. Kočne karakteristike Gama

Kao što je već pomenuto Gama vozovi imaju unapred definisane kočne karakteristike i one izgledaju ovako. Posebne vrednosti unose se u postojeći opseg brzina kao što je prikazano na slici 9. i odgovarajuće usporenje u istom opsegu. Na ovaj način formira se stepenasti profil usporenja voza. Ovakav profil je implementiran unutar vozila od strane samog proizvođača. Što se Lambda voza tiče situacija je drugačija (Slika 10).

Brake percentage for emergency brake λ_o (%)	130
Brake percentage for service brake λ_o (%)	130
V_lim for emergency brake (km/h)	135,32
V_lim for service brake (km/h)	135,32
kto	1,20
T_brake_emergency_cm0 (seconds)	5,0200
T_brake_emergency_cmt (seconds)	6,0240
T_brake_service_cm0 (seconds)	6,4000
T_brake_service_cmt (seconds)	7,6800
T_brake_emergency (seconds)	6,024
T_brake_service (seconds)	7,68
	<input checked="" type="radio"/> Conversion Model
	<input type="radio"/> User's shorter value

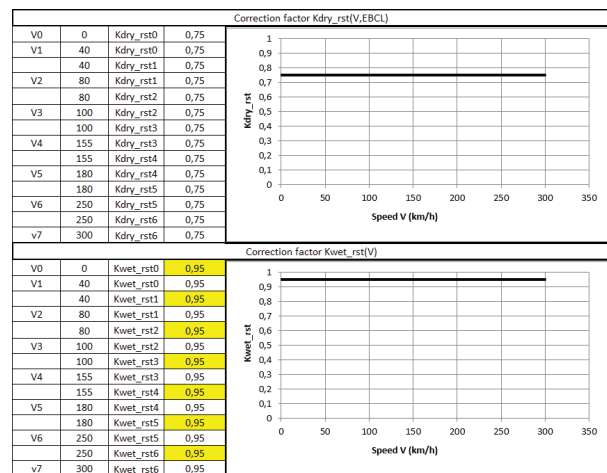
Slika 10. Kočne karakteristike Lambda

Unutar kočnih karakteristika Lambda voza unosi se procenat kočenja kao osnovni parametar. Za unos procenta kočenja zadužen je mašinovođa prilikom startovanja vučnog vozila, naravno u skladu sa propisanim procentom kočenja. Unosom definisane vrednosti konverzioni model, koji je, takođe, propisan unutar Subset-a 026, proračunava, odnosno konvertuje zadati procenat kočenja u profil usporenja koji će da bude primenjen unutar vozila.

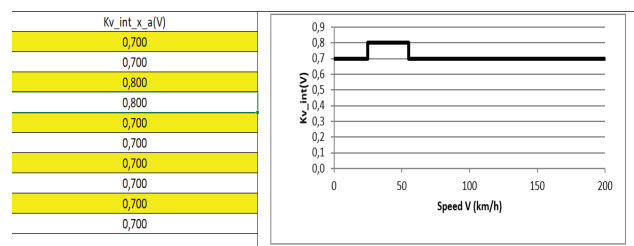
U slučaju unosa nepravilnih podataka može doći do posledica. Primer bi bio unos većeg procenta kočenja voza nego što zaista jeste. U tom slučaju krive kočenja bi se proračunavale unutar vozila sa pretpostavkom da voz može da se zaustavi usled boljih kočnih karakteristika, samim tim ETCS oprema na železničkom vozilu dozvoliće vozu da se kreće duže nego što bi zaista trebalo. Ovo bi značilo da će železničko vozilo da prekorači tačku nakon koje bi trebalo da otpočne sa kočenjem kako bi se blagovremeno zaustavio. S druge strane, ukoliko bi se uneo manji procenat kočenja od stvarnog, voz će bespotrebno otpočeti sa kočenjem ranije nego što je potrebno. Ovo znatno povećava troškove, smanjuje kapacitet pruge, no međutim ne ugrožava bezbednost saobraćaja.

Unutar kočnih karakteristika prikazuje se i vreme potrebno da kočnica dostigne pun kapacitet, a vezano za radnu kočnicu i kočnicu u slučaju opasnosti. Takođe, konverzioni model računa usporenja i za radnu i za kočnicu u slučaju opasnosti.

Deo “Korekcionni faktori” predstavljaju određeni interval pouzdanosti. Posebno su definisani za obe vrste vozova (Slika 11 i Slika 12).



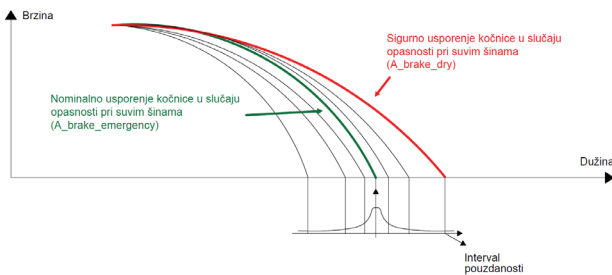
Slika 11. Korekcionni faktori Gamma



12. Korekcionni faktor Lambda

Kod Gama voza vredost K_{dry} predstavlja vrednost korekcije kočenja pri suvim šinama, i K_{wet} vrednost korekcije kočenja pri vlažnim šinama. Smanjivanjem vrednosti ovih parametara povećava se bezbednost pri kočenju, što i jeste svrha ovog sistema. Kod lambda voza situacija je slična, formirani su korekcionni faktori Kv_{int} i Kr_{int} . Kv_{int} predstavlja korekcionnu vrednost koja se vezuje za brzinu voza, dok je Kr_{int} korekciona vrednost vezana za dužinu voza.

Upotrebom navedenih korekcionnih parametara formirao bi se određeni interval pouzdanosti (Slika 13).



Slika 13. Interval pouzdanosti

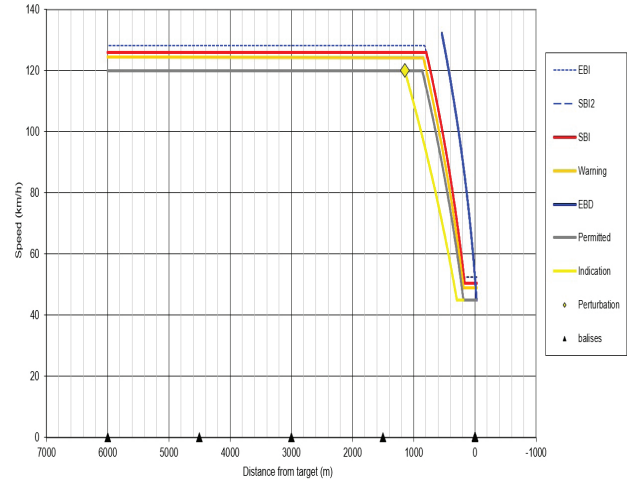
Primer koji bi mogao bolje objasniti korekzione faktore jeste taj da voz usporava 1 m/s^2 . Međutim usled korekcionnih faktora Kv_{int} i Kr_{int} , ovo usporenje se smanjuje na $0,8 \text{ m/s}^2$. U stvarnosti ovo možda neće u potpunosti da bude ovako, ali se sada sa većom pouzdanošću može reći, da će voz da se zaustavi na za to predviđeno mesto. Smanjivanjem ovih vrednosti dodatno će da se poveća sigurnost pri zaustavljanju.

Međutim, prilikom zaustavljanja, voz može da stane mnogo pre nego što je potrebno. U ovom slučaju mašinovođa dobija potpunu kontrolu nad vozom kako bi prišao određenoj tački. Ovakvu radnju obavlja pri ograničenoj brzini koja je unapred implementirana ili propisana od strane upravljača infrastrukture.

3.1. Vizuelni prikaz rezultata

Finalni korak jeste sam proračun koji povezuje sve navedene delove u jednu celinu. Na slici 14. prikazan je rezultat jedne od simulacija. Različitim

bojama su označene različite krive. Ispod samog vizuelnog prikaza nalaze se vrednosti na osnovu kojih su formirane sve krive.



Slika 14. Vizuelni prikaz ETCS krivih kočenja

Prikazani slučaj predstavlja LOA tip, jer je krajnja brzina ograničena na 45 km/h . Početna brzina je 120 km/h , ali je usled nepreciznosti merenja brzine, kao i fiksnih vrednosti koje dozvoljavaju da brzina bude nešto veća proračunata i kriva kočenja za početnu vrednost 128.3 km/h . Sada se, u svakom trenutku, sa grafikona može jasno da vidi kada će se koja operacija izvršiti i na kojoj udaljenosti od cilja. Ukoliko bi se očitavala Za vrednost 100 km/h (procenat kočenja 100%) sa slike 15. dobile bi se sledeće vrednosti:

- EBD = 534 m,
- EBI = 785 m,
- W = 841 m,
- P = 896 m,
- I = 1.182 m.

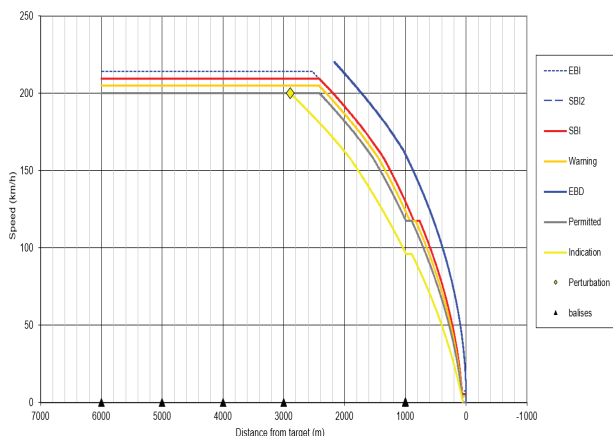
Ovo znači da bi se prva indikacija mašinovođi pojavila na 1.182 m. Ukoliko mašinovođa ne bi blagovremeno podesio odgovarajuću brzinu, nakon kratkog vremena dobio bi opomenu P na 896 m, sa kratkim zvučnim upozorenjem da ponovo obrati pažnju na potrebu za prilagođavanjem brzine. Ukoliko bi mašinovođa ignorisao i ovu informaciju na 841 m javilo bi se dodatno, sada već jače zvučno upozorenje W kao poslednji prag tolerancije. Nakon upozorenja W mašinovođa ima na raspolaganju jako kratko vreme da odreaguje. Konačno u slučaju da je mašinovođa i ovoga puta ignorisao upozorenje,

ETCS oprema na 785 m zadaje komandu za prinudno kočenje, i ovaj trenutak je EBI. od trenutka aktiviranja prinudnog kočenja prolazi određeno vreme dok se ne ostvari pun kapacitet kočnice, a za to vreme voz i dalje ima određeno ubrzanje. Sve ovo dovodi do samog procesa kočenja tek na 534 m, što predstavlja realno kočenje voza i to je kriva EBD. Naravno, potrebno je ponovo naglasiti da je ovo dužina koja odgovara putu kočenja kod usporenja sa 100 km/h do 45 km/h. SBI2 vrednost jednaka je EBI vrednosti, jer SBD kriva nije "implementirana".

4. SIMULACIJA SA REALNIM PODACIMA

Potrebno je da se provere podaci u odnosu na železnička vozila koja su u Srbiji opremljena ETCS sistemom. Jedino železničko vozilo koje je opremljeno ovim sistemom jeste vozilo tipa *STADLER KISS*. Spisak korišćenih vrednosti od značaja za simulaciju je (Slika 15):

- merenje nepreciznosti brzine kao i pozicije po Subset-u 041;
- nominalna rotaciona masa = 10 %;
- udaljenost antene od čela voza = 7,8 m;
- početna brzina = 200 km/h.
- Pozicija baliza [1.000 m, 2.000 m, 3.000 m]
- Preciznost pozicije baliza = 0 m
- Vreme pripreme kočenja = 6 s
- Procenat kočenja = 200 %
- Korekcionni faktori Kr_{int} i Kv_{int} = 0,9 i 0,7
- Nagib deonice = 0 %



Slika 15. Simulacija realnih vrednosti (STADLER KISS)

Ukoliko bi se očitavala vrednost 200 km/h sa slike 15. dobile bi se sledeće vrednosti:

- EBD = 1.720 m,
- EBI = 2.189 m,
- W = 2.300 m,
- P = 2.411 m,
- I = 2.888 m.

Ovo znači da bi se prva indikacija mašinovođi pojavila na 2.888 m. Ukoliko mašinovođa ne bi blagovremeno podesio odgovarajuću brzinu, nakon kratkog vremena dobio bi opomenu P na 2.411 m, sa kratkim zvučnim upozorenjem da ponovo obrati pažnju na potrebu za prilagođavanjem brzine. Ukoliko bi mašinovođa ignorisao i ovu informaciju na 2.300 m javilo bi se dodatno, sada već jače zvučno upozorenje W kao poslednji prag tolerancije. Nakon upozorenja W mašinovođa ima na raspolaganju jako kratko vreme da odreaguje. Konačno, u slučaju da je mašinovođa i ovoga puta ignorisao upozorenje, ETCS oprema na 2.189 m zadaje komandu za prinudno kočenje i ovaj trenutak je EBI. Od trenutka prinudnog zavođenja kočenja prolazi određeno vreme dok se ne ostvari pun kapacitet kočnice, a za to vreme voz i dalje ima određeno ubrzanje. Sve ovo dovodi do samog procesa kočenja tek na 1.720 m, što predstavlja realno kočenje voza i to je kriva EBD.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu simulacije sa realnim parametrima za voz tipa *STADLER KISS* koji je opremljen ETCS sistemom, zaključuje se da sistem omogućava visoko precizno praćenje brzine i pozicije vozila, uz efikasnu kontrolu kočenja. Sistem obezbeđuje adekvatnu reakciju u svim fazama smanjenja brzine. Prikazani rezultati ukazuju na to da ETCS pruža dovoljnu vremensku rezervu za pravovremeno obaveštavanje mašinovođe i sprovođenje prinudnog kočenja, čime se značajno smanjuje rizik od nesreća i poboljšava sigurnost na železnici. Krive kočenja, u skladu sa parametrima kao što su EBD i EBI, osiguravaju da se kočenje vrši u optimalnim uslovima, čime se postiže efikasan proces zaustavljanja u svim scenarijima, čak i pri većim brzinama nego što je dozvoljeno.

LITERATURA

- [1] Jevtić S: Evropsi sistem kontrole vozova ETCS, Akademija tehničko - umetničkih strukovnih studija, Beograd, 2022.
- [2] "System Requirement Specification", https://www.era.europa.eu/system/files/2023-01/sos3_index004_-_subset-026_v360.zip.
- [3] E. ERTMS Unit, "Introduction to ETCS braking curves", ERA_RTMS_040026, v.1.5", 12/08/2022.
- [4] "Introduction to ETCS braking curves", <https://www.era.europa.eu/domains/european-rail-traffic-management-system/braking-curves>.
- [5] "Braking curves simulation tool v4.3", <https://www.era.europa.eu/domains/european-rail-traffic-management-system/braking-curves>.
- [6] Ognjanović S: Upporedna analiza saobraćaja vozova primenom simulacionih modela - završni rad osnovnih akademskih studija, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, 2023.

PREGLEDNI RAD

ŽELJKO KOKEZA*, MILIVOJE ILIĆ, IVAN BELOŠEVIĆ

NAPREDNA SOFTVERSKA REŠENJA ZA IZRADU REDA VOŽNJE U ŽELEZNIČKOM SAOBRAĆAJU

ADVANCED SOFTWARE SOLUTIONS FOR CREATING TIMETABLES IN RAILWAY TRAFFIC

Datum prijema rada: 15.11.2024. god.

Datum prihvatanja rada: 11.12.2024. god.

UDK: 656.2+519.8

REZIME:

U radu se razmatra mogućnost primene softverskih rešenja u procesu planiranja i organizacije železničkog saobraćaja, sa posebnim osvrtom na softvere za izradu reda vožnje. Jednostavni softverski alati omogućavaju delimičnu ili potpunu automatizaciju procesa izrade reda vožnje čime se povećava preciznost i ubrjava proces rada na konstrukciji reda vožnje. Korišćenjem naprednih algoritama, specijalizovani softveri za izradu reda vožnje mogu efikasno obraditi velike količine podataka, kao što su tehničke karakteristike voznih sredstava, infrastrukturna ograničenja i saobraćajni zahtevi kako bi se stvorio što povoljniji plan saobraćaja vozova na posmatranoj železničkoj mreži. Ovaj rad daje prikaz naprednih softverskih rešenja koji se koriste širom sveta za planiranje redova vožnje i simulaciju železničkog saobraćaja. Pored prednosti koje ovi softveri donose, rad analizira izazove i ograničenja u njihovoj primeni, kao što su kompatibilnost sa postojećim sistemima, visoki troškovi implementacije, potreba za obukom zaposlenih i izazovi u vezi sa održavanjem sistema. Zaključuje se da, uprkos izazovima, primena savremenih softverskih rešenja predstavlja ključnu komponentu za smanjenje kašnjenja i povećanje efikasnosti i bezbednosti železničkog saobraćaja.

Ključne reči: softverska rešenja, red vožnje, železnički saobraćaj, automatizacija, simulacija i optimizacija

SUMMARY:

This paper explores the role of software solutions for the process of railway traffic planning and organization, with a particular focus on the development of railway timetables. Basic software tools enable partial or complete automation on the development of timetables, which increases precision and speeds-up the workflow process. By utilizing advanced algorithms, specialized software solutions can efficiently process large volumes of data, such as technical characteristics of trains, infrastructure constraints and traffic demands, to create adequate train schedules. The paper also examines the use of advanced software solutions which are employed globally for timetable planning and railway traffic simulation. In addition to the benefits that these software solutions offer, the paper analyzes the challenges and limitations in their application, such as compatibility with existing systems, high implementation costs, the need for staff training, and system maintenance issues. The conclusion emphasizes that despite the challenges, the use of modern software packages is a key component for reducing delays and improving the efficiency and safety of railways.

Key words: software solutions, timetables, railway traffic, automation, simulations and optimization

*Željko Kokeza, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, zeljko.kokeza@gmail.com

1. UVOD

Železnički saobraćaj je ključna karika u sistemu prevoza putnika i robe, ne samo u nacionalnim, već i u međunarodnim okvirima. Efikasno upravljanje železničkim saobraćajem, naročito kada je reč o planiranju i izradi redova vožnje, predstavlja izazov koji zahteva preciznost, brzo donošenje odluka, kao i sposobnost za prepoznavanje i reagovanje na dinamične promene u saobraćajnim uslovima. Red vožnje nije samo lista polazaka i dolazaka vozova – to je kompleksan skup podataka koji se mora uzeti u obzir brojna ograničenja uključujući kapacitet infrastrukture, najveće dopuštene brzine, međusobnu koordinaciju različitih vidova prevoza, kao i sigurnosne mere.

Kroz istoriju, železničke uprave su se oslanjale na različite metode za planiranje redova vožnje, od ručnih proračuna do složenih matematičkih modela. Međutim, sa brzim napretkom tehnologije u poslednjim decenijama, sve veća uloga u izradi reda vožnje pripada softverskim rešenjima specijalizovanim za železnički saobraćaj. Jednostavni softverski alati omogućavaju delimičnu ili potpunu automatizaciju procesa izrade reda vožnje čime se povećava preciznost i ubrzo proces rad na konstrukciji reda vožnje. Korišćenjem naprednih algoritama, specijalizovana softverska rešenja za izradu reda vožnje mogu da obrade velike količine podataka, kao što su tehničke karakteristike voznih sredstava, infrastrukturna ograničenja i saobraćajni zahtevi, kako bi se stvorio što povoljniji plan saobraćaja vozova na posmatranoj železničkoj mreži.

S obzirom na to da je železnički saobraćaj često povezan sa mnogobrojnim specifičnim zahtevima i potrebom za usklađivanjem sa drugim vidovima transporta, softverska rešenja koji omogućavaju izradu reda vožnje postaju neophodni za smanjenje kašnjenja, povećanje efikasnosti i bezbednosti celokupnog sistema. Ova softverska rešenja ne samo da omogućavaju bolje planiranje trenutnih redova vožnje, već i analize koje pomažu u unapređenju budućih planova, pružajući vredne uvide u potencijalna poboljšanja i optimizaciju saobraćaja.

Razvoj softverskih rešenja za železnički saobraćaj

pokreće i trendove ka digitalizaciji i automatizaciji, što otvara vrata za integraciju novih tehnologija, kao što su veštačka inteligencija, mašinsko učenje, i IoT (Internet of Things), koje dodatno unapređuju sposobnost za predviđanje i optimizaciju uslova u realnom vremenu. U narednim godinama, očekuje se da će softveri za izradu redova vožnje igrati još značajniju ulogu u evoluciji železničkog saobraćaja, omogućavajući veću fleksibilnost i odgovor na izazove koje donosi ubrzan tehnološki razvoj i napredak.

2. PRIMENA MATEMATIČKIH MODELA U PLANIRANJU I ORGANIZACIJI ŽELEZNIČKOG SAOBRAĆAJA

Železnički saobraćaj je kompleksan sistem u kojem se integrišu mnogi faktori i koji zahteva koordinaciju između različitih nivoa planiranja i operacija. Svaka železnička mreža sastoji se od velikog broja elementa, uključujući pruge, stanice i ostala službena mesta, elektro-energetska postrojenja, signalizaciju, telekomunikacione uređaje, vozove kao i mnoge administrativne i operativne službe. Kako bi se održala efikasnost i bezbednost železničkog saobraćaja, važno je da svi ovi sistemi funkcionišu u savršenoj harmoniji. Organizacija železničkog saobraćaja obuhvata niz zadataka, uključujući organizaciju tokova putnika i robe, plan formiranja vozova, izradu reda vožnje i njegovo usklađivanje sa planom održavanja infrastrukture, upravljanje saobraćajem u realnom vremenu i reakciju na neočekivane situacije (kao što su kašnjenja, kvarovi ili vremenski uslovi).

U okviru ovih operacija, ključnu ulogu imaju matematički modeli koji omogućavaju precizno i pravovremeno planiranje. Matematički modeli u železničkom saobraćaju koriste se kako bi se rešavali problemi koji se javljaju prilikom organizacije tokova putnika i robe, plana formiranja vozova, izrade redova vožnje i proračuna kapaciteta. Modeli mogu da obuhvate različite nivoe i aspekte sistema, od proračuna voznih vremena pojedinačnih vozova do planiranja celokupnog saobraćajnog toka na mreži.

U postojećoj literaturi [1], opisano je korišćenje matematičkih modela u analizi i optimizaciji

železničkog saobraćaja, koji omogućavaju efikasno planiranje rasporeda vožnje, analizu kapaciteta infrastrukture i poboljšanje operativnih procesa u železničkom sistemu. Matematički modeli u železničkom saobraćaju mogu da se klasifikuju u sledeće kategorije:

- **Modeli za optimizaciju plana formiranja i grafikona saobraćaja vozova:** Usaglašavanje plana formiranja i grafikona saobraćaja vozova predstavlja izazov zbog potrebe da se uzme u obzir veliki broj faktora. To uključuje relacije saobraćanja vozova, planirani broj vozova, vreme polaska i dolaska, kao i infrastrukturna ograničenja (broj koloseka na otvorenoj pruzi i u stanicama), vrstu signalizacije i još mnoge druge. U ovim modelima, često se koristi linearno programiranje ili celobrojno programiranje, jer su odluke diskretne vrednosti (npr. hoće li voz krenuti u određenom trenutku ili ne).
- **Simulacija saobraćaja:** Simulacioni modeli koriste se za modeliranje i analizu železničkog saobraćaja uzimajući u obzir vučne proračune i trajektoriju kretanja. Ovi modeli omogućavaju predviđanje i analizu toka saobraćaja, testiranje različitih scenarija i uočavanje potencijalnih problema pre nego što do njih dođe. Na primer, korišćenjem diskretnih događajnih simulacija, moguće je modelirati dolazak vozova na stanicama, interakciju između vozova, kao i uticaj signalizacije i drugih tehničkih podсистema na efikasnost saobraćaja.
- **Optimizacija kapaciteta:** Veoma važan aspekt organizacije železničkog saobraćaja je optimizacija kapaciteta pruga. Matematički modeli se koriste za analizu maksimalnog broja vozova koji mogu da prolaze kroz određeni deo mreže u datom vremenskom periodu, kao i za optimalno raspoređivanje vozova na prugama koje imaju različite kapacitete i brzine. Ovi modeli obično koriste teoriju grafova kako bi prikazali železničku mrežu i analizirali tokove saobraćaja kroz mrežu.
- **Modeli za predviđanje i upravljanje kašnjenjima:** U svakom železničkom sistemu, kašnjenja su neizbežna, ali njihovo smanjenje je ključno za poboljšanje efikasnosti i korisničkog zadovoljstva. Korišćenjem statističkih modela i algoritama za mašinsko učenje,

moguće je predvideti kašnjenja na osnovu istorijskih podataka, stanja infrastrukture, vremenskih uslova i drugih faktora. Ovi modeli mogu pomoći u pravovremenom reagovanju i dinamičkom prilagođavanju redova vožnje, čime se minimizuje negativan uticaj kašnjenja na celokupni saobraćaj.

- **Modeli za procenu bezbednosti:** Bezbednost je uvek prioritet u železničkom saobraćaju, a matematički modeli mogu pomoći u proceni sigurnosnih rizika. Korišćenjem probablističkih modela (kao što su modeli verovatnoće otkaza ili nesreća), moguće je analizirati i minimizirati rizik od nezgoda i drugih sigurnosnih incidenata.

3. SOFTVERI ZA IZRADU REDA VOŽNJE U ŽELEZNIČKOM SAOBRAĆAJU

Osnovniji tip softverskih rešenja u železničkom saobraćaju su alati koji omogućavaju delimičnu ili potpunu automatizaciju procesa izrade reda vožnje. Napredni softverski sistemi koriste različite algoritme za planiranje i konstrukciju reda vožnje na osnovu predviđenih faktora, kao što su tehničke karakteristike vozni sredstava i infrastrukture, planirani broj vozova, kao i specifični zahtevi prevoznika ili putnika. Takođe, ovi sistemi omogućavaju simulaciju različitih scenarija kako bi se identifikovali najefikasniji grafikon saobraćaja vozova. U nastavku će biti predstavljena tri softvera koji se trenutno koriste širom sveta u različitim železničkim upravama. U pitanju su TPS (Train Planning System) razvijen od strane nemačke kompanije Hacon; TRENO razvijen od italijanske kompanije Trenolab i OpenTrack razvijen na švajcarskom federalnom Institutu za planiranje saobraćaja. Svi ovi softveri imaju jako širok spektar mogućnosti, počev od kreiranja infrastrukturnih modela, preko upravljanja podacima o voznim sredstvima i redovima vožnje, do krajnjeg dobijanja izlaznih rezultata, najčešće u vidu raznovrsnih grafikona, dijagrama i tabelarnih izveštaja.

3.1. Softversko rešenje TPS

TPS sistem planiranja reda vožnje je prvobitno razvijen i implementiran pod imenom STRAKS 2001/2002 godine za danski železnički sistem.

STRAKS je predstavljen Danskoj nacionalnoj železničkoj agenciji (DNRA) i danskom glavnom operateru DSB za potrebe dugoročnog i kratkoročnog planiranja saobraćaja vozova. TPS sistem je zasnovan na naprednom razvoju postojećih paketa za simulaciju kretanja vozova koje razvija i održava HACON u Hanoveru (Nemačka) od sredine 1980-ih. TPS se sastoji od skupa aplikacija specifičnih za određene korisničke grupe, koje rade na istoj bazi podataka i dele infrastrukturu i informacije o redu vožnje zajedno sa dodatnim matičnim podacima. Infrastrukturni model je zasnovan na primeni teorije grafova koji obezbeđuje primenu algoritama za pretragu najpovoljnije rute na mreži grafa i simulaciju kretanja voza. Osim mogućnosti planiranja saobraćaja vozova, TPS takođe pruža mogućnost planiranja rada voznog osoblja, zatvora koloseka ili drugih uzroka smanjenja mrežnog kapaciteta kao planskih informacija [2].

Softversko rešenje TPS kombinuje upravljanje infrastrukturom, voznim vremenima i redovima vožnje. Predstavlja pouzdano softversko rešenje koje omogućava rešavanje problema kako na nivou alokacije infrastrukturnih kapaciteta za potrebe dugoročnog planiranja tako i za potrebe izrade redova vožnje na godišnjem i dnevnom nivou. Sistem modelira "digitalnu kopiju" železničke mreže i infrastrukture. Izgled infrastrukturnog modela u softveru TPS dat je na Slici 1.



Slika 1. Izgled infrastrukturnog modela u softveru TPS

TPS se sastoji od sledećih komponenti (modula):

- TPS.plan,
- TPS.trackworks,

- TPS.live,
- TPS.yard,
- TPS.integrate.

Softverska rešenja TPS nude upravljačima infrastrukture i železničkim transportnim kompanijama širok spektar fleksibilnih aplikacija koje pomažu u optimizaciji operativnih procesa bilo da se radi o organizaciji saobraćaja na pruži ili izradi tehnologije rada stanica. Treba da se naglasi da je izrada tehnologije rada kompleksnih stanica poput tehničko-teretnih i tehničko-putničkih stanica moguća primenom TPS softvera. TPS nudi softverska rešenja koja mogu da se koriste na različitim nivoima planiranja (strateško i operativno) kao i za upravljanje saobraćajem vozova u realnom vremenu [3].

Trenutni korisnici TPS softverskih rešenja su SNCF, DSB, SBB, DB, Renfe i Rhätische bahn.

3.2. Softversko rešenje TRENO

Treno je softverski paket razvijen od strane italijanskog instituta Trenolab. Cilj ovog softvera jeste da odgovori na pitanje o železničkim operacijama putem modeliranja i simulacije. Danas ovaj softver koriste nacionalne železnice, projektantske kuće, instituti i fakulteti širom sveta. Simulacija se odvija prema unapred definisanoj infrastrukturi, definisanom redu vožnje i karakteristikama voznih sredstava. Nakon završetka simulacije, korisnik je u mogućnosti da sagleda širok spektar dijagrama, grafikona, tabela, kao i da ponovno započne simulaciju od trenutka koji želi [4].

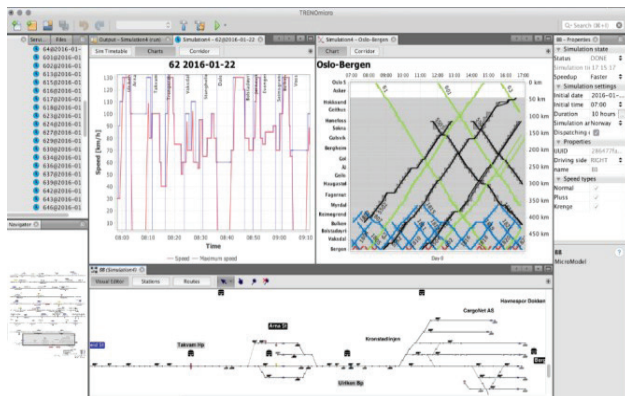
Planerski proces koji je sadržan u softveru TRENO obuhvata sledeća četiri alata:

- TRENOpplus,
- TRENOanalysis,
- Trenissimo,
- TRENOCrew.

TRENO je moćan alat za planiranje reda vožnje razvijen od nule kako bi se maksimalno iskoristila najnovija istraživanja u modeliranju i algoritmima analize mreže. On integriše makroskopski model i trenissimo mikroskopski model u paket koji podržava korisnike u proceni vremena rada za ko-

Napredna softverska rešenja za izradu reda vožnje u železničkom saobraćaju

rišćenje u planiranju rasporeda i infrastrukture na različitim nivoima detalja. Izgled infrastrukturnog modela u softveru TRENO dat je na Slici 2.



Slika 2. Izgled infrastrukturnog modela i reda vožnje u softveru TRENO

TRENO realno modelira železničke operacije, uključujući upravljanje saobraćajem, ponašanje mašinovođe i uticaj realnog opterećenja (količina robe i broj putnika) na vreme zaustavljanja. Ovi faktori su kritični za preciznu simulaciju kompleksnih železničkih mreža, kao što su sistemi metroa.

TRENO se može koristiti za procenu alternativnog reda vožnje i investicija u infrastrukturu kako bi se utvrdile njihove operativne koristi i troškovi. Železnički operateri mogu koristiti ove podatke za planiranje rada svoje mreže i njenog daljeg razvoja [5].

Trenutni korisnici TRENO softverskih rešenja su Arriva, Caltrans, Ferrovienord, Lossan, Network rail, NS.

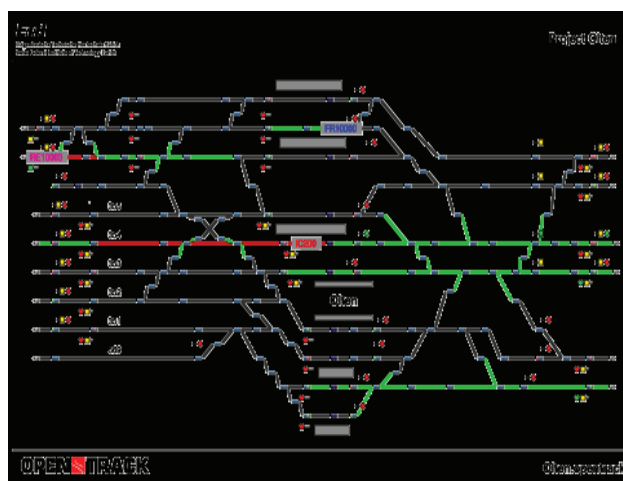
3.3. Softversko rešenje OPENTRACK

Softver je nastao kao rezultat istraživačkog projekta na institutu za transportno planiranje i sisteme saobraćaja Švajcarskog federalnog instituta za tehnologiju sredinom devedesetih godina prošlog veka. Cilj projekta bilo je razvijanje efikasnog i lakog programa za rukovanje za simulaciju, koji bi uz pomoć različitih platformi za izračunavanje rešavao kompleksne zadatke iz domena železničkog saobraćaja [6].

OpenTrack se sastoji iz tri osnovna dela, odnosno modula:

- ulaz,
- simulacija sa mogućnošću animacija,
- izlazni rezultati.

Ulazni podaci za red vožnje nekog voza sastoje se od brojnih podataka koji se unose u bazu podataka o redu vožnje (broj voza, stanica, dolazak, polazak, minimalno vreme bavljenja) kao i od podataka koji se unose u tabelu za veze vozova po stanicama u kojima se one ostvaruju. Izgled infrastrukturnog modela u softveru OpenTrack dat je na Slici 3. OpenTrack predstavlja odličan softverski alat za rešavanje raznovrsnih i složenih železničkih problema. Posebno je zanimljivo što problemi mogu da se reši simulacijom sa prikazanom animacijom. Takođe izlazni rezultati koji mogu da budu u različitim formama nedvosmisleno i jasno prikazuju rešenje problema [7].



Slika 3. Izgled infrastrukturnog modela u softveru OpenTrack

Jedna od prednosti OpenTrack-a je što omogućava korisnicima da prilagode mnoge varijable koje utiču na eksploataciju železnice. Na primer, korisnici mogu da simuliraju uticaj vremena na vuču specificirajući scenario adhezije (dobro, normalno, loše) [8].

Trenutni korisnici softvera OpenTrack su RHK, NSB, SZDC, Aurizon, TU Delft.

3.4. Prednosti primene softverskih rešenja pri izradi reda vožnje

Uloga softverskih rešenja u izradi reda vožnje u železničkom saobraćaju prevazilazi samu automatizaciju procesa. Ova rešenja imaju ključnu ulogu u optimizaciji saobraćaja, povećanju efikasnosti i smanjenju ljudskih grešaka.

Korišćenjem algoritama i naprednih matematičkih modela, softver može u vrlo kratkom vremenskom periodu da generiše red vožnje koji je optimalan za sve ove faktore, što bi ljudskim resursima bilo gotovo nemoguće da ostvari u istom vremenskom okviru. Ovaj proces ne samo da štedi vreme, već i smanjuje mogućnost ljudskih grešaka.

Jedna od ključnih prednosti modernih softverskih rešenja je njihova prilagodljivost. Železnički saobraćaj se suočava sa mnogim dinamičkim faktorima koji utiču na red vožnje, kao što su: kašnjenje vozova, poremećaji u saobraćaju, promene u prioritetima.

Softveri omogućavaju dinamičko prilagođavanje reda vožnje u realnom vremenu. Na primer, ako dođe do kašnjenja jednog voza, softver može automatski da prepravi raspored i preusmeri vozove kako bi se izbegla dalja zagušenja. Takođe, softveri mogu da obaveste upravljače saobraćaja o preusmerenjima i potrebnim izmenama, čime se omogućava bolja koordinacija.

Jedna od najvećih prednosti korišćenja softverskih alata u izradi reda vožnje je smanjenje ljudskih grešaka. Tradicionalni pristupi izradi reda vožnje mogu da budu podložni greškama usled manuel-

nog unosa podataka, loše procene kapaciteta i sl. Osnovne prednosti u izradi redova vožnje korišćenjem softverskih alata su predstavljene u nastavku teksta.

Automatizacija procesa: Smanjuje rizik od grešaka koje se često javljaju u ručnom planiranju.

Mogućnost provere integriteta podataka: Softveri često imaju ugrađene alate za proveru tačnosti podataka pre nego što postanu deo reda vožnje, čime se sprečavaju greške koje bi mogle dovesti do problema u saobraćaju.

Na primer, softver može da proveriti da li su kapacitet stajališta ili signalizacija dovoljni za primanje predviđenih vozova, čime se smanjuje mogućnost nesreća ili zagušenja.

Softverska rešenja značajno povećavaju efikasnost železničkog saobraćaja. To je moguće zahvaljujući optimizaciji resursa i boljoj koordinaciji između svih elemenata sistema.

Bolje iskorišćenje kapaciteta mreže: Softveri omogućavaju da se red vožnje planira tako da se maksimalno iskoristi raspoloživi kapacitet infrastrukture.

Optimalno raspoređivanje vozova: Softveri mogu da optimizuju distribuciju vozova po mreži, kako bi se smanjili intervali između vozova i povećala frekvencija saobraćaja bez opterećenja infrastrukture.

U Tabeli 1. prikazane su sve mogućnosti pomenuta tri softvera.

Tabela 1. Prikaz i poređenje mogućnosti posmatranih softvera

Mogućnost/ Softver	TPS	TRENO	OpenTrack
Kreiranje infrastrukturnog modela	✓	✓	✓
Unos podataka o voznim sredstvima	✓	✓	✓
Unos podataka o redu vožnje	✓	✓	✓
Izračunavanje voznih vremena	✓	✓	✓
Proračun minimalnog intervala sleđenja uzastopnih vozova	✓	✓	✓
Proračun ukupnih ili pojedinačnih kašnjenja	✓	✓	✓
Planiranje zatvora koloseka i drugih infrastr. ograničenja	✓		✓
Izračunavanje potrošnje energije			✓
Praćenje voza u realnom vremenu	✓		
Planiranje rada voznog osoblja	✓	✓	
Izračunavanje kapaciteta pruge	✓	✓	

4. IZAZOVI I OGRANIČENJA U PRIMENI SOFTVERSKIH REŠENJA

Iako softverska rešenja imaju brojne prednosti u planiranju i izradi reda vožnje u železničkom saobraćaju, njihova primena nije bez izazova. S obzirom na kompleksnost železničkog saobraćaja i potrebe za preciznošću, postoje brojni tehnički, organizacioni i ekonomski faktori koji mogu da ograniče efikasnost ili implementaciju ovih sistema. U nastavku su predstavljeni glavni izazovi i ograničenja sa kojima se suočavaju železničke kompanije i organizacije koje primenjuju ove tehnologije.

Kompatibilnost sa postojećim sistemima: U mnogim zemljama, železničke mreže koriste stare sisteme koji nisu u potpunosti kompatibilni sa novim softverskim rešenjima. To može da oteža integraciju novih tehnologija u postojeću infrastrukturu, što može da uspori implementaciju ili poveća troškove adaptacije.

Različite tehničke norme: Mnoge zemlje ili regioni mogu da koriste različite tehničke standarde, što može da stvori probleme u razmeni podataka i upravljanju saobraćajem između različitih železničkih sistema. Na primer, signalizacija, komunikacijski sistemi i infrastruktura mogu da variraju, što otežava uvođenje jedinstvenog softverskog rešenja za sve mreže.

Kompleksnost podataka: Softverska rešenja u železničkom saobraćaju moraju da upravljaju velikim količinama podataka u realnom vremenu, uključujući informacije o vozovima, stanjima na prugama, vremenskim uslovima, raspolagajućim kapacitetima i resursima. Upravljanje i obrada tih podataka zahteva napredne tehnologije i visok nivo preciznosti.

Kupovina i licenciranje softverskih paketa: Cena licenciranja naprednih softverskih alata, kao što su sistemi za optimizaciju rasporeda vožnje ili simulacije, može da bude značajna, posebno za velike železničke mreže.

Infrastrukturni troškovi: Implementacija novih sistema često zahteva modernizaciju infrastrukture,

kao što su instalacija novih servera, jačanje mrežne povezanosti ili uvođenje novih senzora za prikupljanje podataka u realnom vremenu. Ovi troškovi mogu da budu visoki i zahtevaju značajna ulaganja.

Obuka zaposlenih: Pre nego što softverski sistem postane efikasan, neophodna je obuka operatera, konstruktora, inženjera i drugih zaposlenih da pravilno koriste nove alate. Troškovi obuke, kao i vreme potrebno da bi zaposleni postali efikasni u korišćenju novih sistema, takođe mogu da budu značajni.

Održavanje sistema: Softverski alati moraju redovno da se održavaju kako bi se osigurao njihov nesmetan rad. To uključuje nadogradnje, popravke grešaka i poboljšanje sigurnosnih mera. Ako se ovi sistemi ne održavaju pravilno, može da dodje do tehničkih problema koji mogu negativno da utiču na kvalitet saobraćaja.

Adaptacija na promene u železničkom sistemu: Železnički saobraćaj je u stalnom procesu modernizacije, sa novim linijama, vozovima i tehnologijama koje se uvode. Softverski sistemi moraju da budu fleksibilni i sposobni da se brzo prilagode tim promenama, što može da predstavlja izazov u pogledu vremena i troškova.

Strah od nove tehnologije: Zaposleni, posebno oni koji su navikli na starije sisteme i radne procese, mogu da budu skeptični u pogledu nove tehnologije. Ovaj otpor može da uspori proces implementacije i usvajanja novog sistema.

Promene u organizaciji rada: Uvođenje novih softverskih rešenja može da zahteva promene u načinu na koji se posao obavlja, što može da izazove nesigurnost među zaposlenima i menadžmentom. Ove promene mogu da uključe nove uloge i odgovornosti, kao i promenjeni način rada koji može da dovede do nesuglasica u timu.

Potrebna obuka i podrška: Da bi nova tehnologija bila uspešno usvojena, potrebna je odgovarajuća obuka i stalna podrška korisnicima. Nedostatak adekvatne obuke može da dovede do neefikasnog korišćenja sistema i smanjenja njegove efikasnosti.

Zahtevi za redovno ažuriranje i obradu podataka: U velikim mrežama, količina podataka koji se prikupljaju i obrađuju može da bude velika. Potrebna su specijalizovana rešenja za redovno ažuriranje i analizu podataka, što može da predstavlja tehnički izazov.

Bezbednost i privatnost podataka: S obzirom na prirodu podataka koji se prikupljaju, postoji potreba za zaštitom privatnosti putnika i osiguranje sigurnosti podataka. Ovo uključuje zaštitu podataka o putnicima, vozovima, infrastrukturi kao i drugih osetljivih informacija koje se koriste za planiranje saobraćaja.

5. ZAKLJUČAK

Upravljanje železničkim saobraćajem je kompleksan zadatak koji zahteva precizno planiranje, efikasnu koordinaciju i stalno praćenje stanja u realnom vremenu. S obzirom na specifičnost i složenost železničkih sistema, korišćenje modernih softverskih rešenja i matematičkih modela postaje neophodno za optimizaciju redova vožnje, upravljanje kapacitetima infrastrukture i minimiziranje kašnjenja. Ovi alati ne samo da omogućavaju bolju organizaciju i preciznost u planiranju, već takođe omogućavaju predviđanje problema i reakciju na dinamiku saobraćaja, čime se povećava efikasnost i sigurnost celokupnog sistema.

Matematički modeli, poput optimizacije redova vožnje, simulacija saobraćaja, predviđanja kašnjenja i optimizacije kapaciteta pruga, predstavljaju ključne komponente u ovom procesu. Kroz njih, železničke kompanije mogu da donesu ispravne odluke koje omogućavaju maksimalno iskorišćavanje resursa, smanjenje operativnih troškova i poboljšanje korisničkog iskustva.

U budućnosti, se očekuje da će integracija naprednih tehnologija, kao što su veštačka inteligencija i mašinsko učenje, dodatno unaprediti mogućnosti softverskih rešenja i matematičkih modela. Ova integracija može da doprinese još većoj preciznosti, fleksibilnosti i održivosti železničkog saobraćaja, omogućavajući bolje snalaženje u suočavanju sa izazovima koje donosi savremeni svet transporta.

Iako su izazovi u oblasti železničkog saobraćaja i dalje prisutni, upotreba modernih tehnologija, u kombinaciji sa matematičkim modelima i softverskim rešenjima, pruža jasnu putanju ka efikasnijem, sigurnijem i održivijem železničkom sistemu u budućnosti.

LITERATURA

- [1] I. Hansen, J. Pachel, Railway Timetable & Traffic, EURailpress, Hamburg, Nemačka, 2008.
- [2] Kass A., Goosmann R., Implementation of the timetable planning system STRAX/TPS in Denmark, Computers in Railways IX, vol. 1, Drezden, Nemačka, 2004.
- [3] Kokeza Ž., Modeliranje železničke infrastrukture na deonici pruge Kraljevo-Požega za potrebe konstrukcije reda vožnje vozova primenom softverskog rešenja TPS.Plan, završni rad, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, 2024.
- [4] Fabris S., Medeossi G. & Montanaro G., Trenissimo: Improving the microscopic simulation of railway networks, WIT Transactions on The Built Environment, TrenoLab, Italija, 2019.
- [5] Bojanić A., Simulaciona analiza organizacije saobraćaja vozova na deonici pruge Lapovo-Jagodina, Železnice, vol. 66, br. 2, str. 53-65, 2021.
- [6] Huerlimann D., Nash A., Open Track Simulation of railway network Version 1.9., Institute for Transport Planning and Systems, Ciri, Švajcarska, 2019.
- [7] Laketić M., Milinković S.: Mikrosimulacioni modeli u železničkom saobraćaju, Železnice vol. 66, br. 2, str. 66-76.
- [8] Ilić M., Milinković S., Simulacioni model za analizu uticaja laganih vožnji na vreme vožnje vozova na relaciji Valjevo-Kosjerić, Železnice vol. 66, br. 1, str. 15-21, 2021.
- [9] Čičak M., "Modeliranje u železničkom saobraćaju", Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2003.
- [10] Milutinović M, Milinković S, Vesković S: Simulacija kretanja vozova u slučaju izgradnje dvokolosečne pruge na relaciji Resnik-Valjevo, Železnice, vol. 63, br. 2, str. 69-77, 2018.

STRUČNI RAD

DUŠAN STAMENKOVIĆ*, ALEKSANDAR MILTENOVIĆ, MILAN BANIĆ,
MILOŠ SIMONOVIĆ, MARKO PERIĆ, DAMJAN RANGELOV

PRIMENA UREĐAJA ZA VIZUELNU KONTROLU PODVOZJA ŽELEZNIČKIH VOZILA U OKVIRU KONTROLNIH PEGLEDA

APPLICATION OF THE DEVICE FOR INSPECTING THE UNDER CARRIAGE OF RAILWAY VEHICLES IN THE FRAMEWORK OF INSPECTION

Datum prijema rada: 31.10.2024. god.
Datum prihvatanja rada: 7.12.2024. god.
UDK: 656.2+629.4

REZIME:

Održavanje železničkih vozila je jedno od najvažnijih delatnosti koje direktno utiču na bezbednost železničkog saobraćaja, ali predstavljaju i značajan trošak. Savremeni dijagnostički sistemi su značajno unapredili stalni nadzor železničkih vozila i povećali efikasnost preventivnog održavanja prema stanju. Vizuelni pregled je osnovni i najčešći postupak za dijagnostiku železničkih vozila. U ovom radu opisan je uređaj za pregled podvozja lokomotiva, razvijen na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Nišu, pri čemu vozilo stoji na koloseku a uređaj ATUVIS (Autonomous undercarriage visual inspection system) kreće se ispod vozila i vrši snimanje obrtnog postolja.

Ključne reči: održavanje, vizuelni pregled, železnička vozila, električna lokomotiva, ATUVIS

SUMMARY:

The maintenance of railway vehicles is one of the most important activities that directly affects the safety of railway traffic, but it also represents a significant cost. Modern diagnostic systems have significantly improved the continuous monitoring of railway vehicles and increased the efficiency of condition-based preventive maintenance. Visual inspection is the basic and most common procedure for diagnosing railway vehicles. This paper describes a device for inspecting the undercarriage of locomotives, developed at the Faculty of Mechanical Engineering at the University of Niš, where the vehicle stands on the track, and the device ATUVIS (Autonomous Undercarriage Visual Inspection System) moves under the vehicle and performs the inspection of the rotating stand.

Key words: maintenance, visual inspection, railway vehicles, electric locomotive, ATUVIS

*Prof. dr Dušan Stamenković, Univerzitet u Nišu - Mašinski fakultet u Nišu, Niš, Aleksandra Medvedeva 18000,
dusan.stamenkovic@masfak.ni.ac.rs

1. UVOD

Stalno praćenje stanja železničkih tehničkih sredstava osnovna je delatnost održavanja i od suštinskog je značaja za bezbednost železničkog saobraćaja. Vlasnici infrastrukture su odgovorni za ispravnost koloseka i drugih infrastrukturnih objekata, a železnički operateri su odgovorni za operativnu raspoloživost voznih sredstava, te shodno tome železnički prevoznici moraju da obavljaju održavanje svojih tehničkih sredstava. Najvažniji deo održavanja tehničkih sredstava je praćenje stanja.

U cilju povećanja efikasnosti održavanja i raspoloživosti železničkih vozila, a koristeći razvoj elektronike, senzorske tehnike i računarskih tehnologija, uvedena je on-board i stacionarna dijagnostika. On-board sistemi su ugrađeni u vozilo i koriste se za kontinualni nadzor uređaja u eksploataciji. Stacionarni dijagnostički sistemi se koriste za povremene-periodične preglede ispravnosti železničkih vozila i instalirani su pored pruge ili u radionicama.

Savremeni dijagnostički sistemi značajno su unapredili stalni nadzor železničkih vozila i povećali efikasnost preventivnog održavanja prema stanju. Tako kompleksan sistem, kao što je voz, nemoguće je u potpunosti pratiti i kontrolisati, ali težnja je da se vrši nadzor što većeg broja sklopova, uređaja, odnosno sistema na vozilu primenom savremenih dijagnostičkih uređaja [1, 2].

Većina dijagnostičkih sistema za praćenje stanja železničkih vozila je usredsređeno na točkove i obrtna postolja. S obzirom na to da su ti delovi značajni za sigurnost trčanja vozila, imaju najveći uticaj na bezbednost i troškove održavanja.

U radovima [3, 4] autori opisuju istraživanja kako da se postigne efikasno praćenje stanja ogibljenja šinskog vozila i stanja koloseka, koristeći merljive parametre primenom senzora ubrzanja. Ovo su primeri on-board dijagnostičkog sistema. Defekte je potrebno identifikovati na vreme i na taj način sprovesti efikasno održavanje. Stoga je potrebno aktivno praćenje stanja kako bi se prešlo sa preventivnog na prediktivno održavanje.

Autori u radu [5] upoređuju savremena tehnička rešenja koja se koriste za praćenje stanja dinamičkih parametara železničkih vozila analizirajući prednosti i nedostatke ovih metoda.

Neki senzori dijagnostičkog sistema ugrađeni na vozilu mogu da se koriste ne samo za merenje performansi vozila već i za otkrivanje nepravilnosti na pruzi. Rad [6] opisuje metode praćenja stanja železničkih tehničkih sredstava koja su danas u upotrebi na železnici.

Sistem UVIS (Under Vehicle Inspection System) je uređaj za vizuelnu kontrolu voza odozdo (slika 1), koji se postavlja na kolosek (između šina) i vrši pregled dok voz prolazi iznad uređaja [7]. Sistem se sastoji iz više kamera čiji se snimci softverski obrađuju, tako da može da se generiše slika vozila komplet odozdo iz mnoštvo parcijalnih slika.



Slika 1. Sistem UVIS (Under Vehicle Inspection System) [7]

Ovo rešenje je veoma dobro, ali i skupo. Složeno je zato što se koristi više kamera i traži kompleksnu softversku obradu.

U ovom radu je predstavljen uređaj za pregled podvozja, razvijen na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Nišu, pri čemu vozilo stoji na koloseku a uređaj ATUVIS (Autonomous undercarriage visual inspection system) se kreće ispod vozila i vrši snimanje obrtnog postolja.

2. KONTROLNI PREGLED ŽELEZNIČKIH VOZILA

Pravilnik o održavanju železničkih vozila je objavljen u "Službenom glasniku RS" [8]. Ovim pravilnikom propisuju se, evidentiraju rokovi koje je propisao proizvođač voznog sredstva i njihovih delova

Primena uređaja za vizuelnu kontrolu podvozja železničkih vozila u okviru kontrolnih pregleda

značajnih za bezbedno odvijanje železničkog saobraćaja, elementi dosijea o održavanju i upravljanje dosijeom o održavanju .

Servisni pregledi vučnih vozila obavljaju radnici radionice za održavanje železničkih vozila na mestu na kojem je omogućen pregled vučnog vozila iz kanala i na kojem je moguć pristup na krov vučnog vozila.

U sklopu servisnog pregleda vučnih vozila vrši se:

- vizuelni pregled, provera ispravnosti uređaja i dopuna zaliha pogonskog materijala;
- pregled i provera trčućeg stroja odnosno obrtnog postolja, kočionog sistema i drugih uređaja i sklopova;
- otklanjanje neispravnosti u skladu sa uputstvima o održavanju vučnog vozila za ovu vrstu pregleda.

Rokovi servisnih pregleda vučnih vozila utvrđeni su dosijeom o održavanju, a rok između dva servisna pregleda ne može biti duži od 7 dana.

Na vučnom vozilu koje nije korišćeno duže od 5 dana pre ponovne upotrebe mora da bude obavljen servisni pregled [8].

Kontrola ispravnosti železničkog vozila u toku eksploatacije, kao i servisni pregledi obuhvataju vizuelni pregled uređaja na vozilu. Posebno je važno da se redovno prati stanje vučnih vozila .

U okviru servisnih pregleda električnih lokomotiva obavlja se pregled vozila u skladu sa listom pregleda, koja, pored ostalog, uključuje i:

- vizuelnu kontrolu (iz kanala i spolja) sanduka i opreme na njemu,
- vizuelni pregled obrtnih postolja, osovinskih sklopova, obručeva točkova, poklopaca.

Uobičajeno se ovaj pregled vrši iz kanala od strane pregledača koji koristi ručnu lampu za osvetljenje. Međutim, vrlo često je radionica (depo) koja je opremljena kanalom, udaljena, pa je svrsishodno da se servisni pregled izvrši na terenu tj. na sporednom ili industrijskom koloseku. Da bi se vizuelni pregled vozila odozdo obavio bez kanala postavljen je zahtev da se razvije sistem za vizue-

lnu kontrolu koji treba da se postavi u nivou pruge između šina i da omogući pregled trčućeg sklopa vozila dok vozilo stoji.

U okviru vizuelne kontrole obrtnih postolja, u sklopu servisnog pregleda, potrebno je izvršiti pregled i obratiti pažnju na sledeće:

- osovinskih sklopova (videti da li ima oštećenja/riseva na osovinama, točkovima, obručevima točkova, reduktorima, i da li ima curenja iz reduktora);
- vučnih motora (videti da li ima oštećenja poklopaca vučnih motora, elemenata spojnice reduktor - vučni motor);
- dijagonalne motke (videti da li ima oštećenja dijagonalne motke, da li ima zavrtneva i navrtki dijagonalne motke; videti da li ima oštećenja/pukotina na konzolama ramova obrtnih postolja);
- kočionog polužja (videti da li ima oštećenja na trougaonim motkama, regulatorima kočnice, spojevima kočnog polužja - vijčanim vezama);
- kočionih cilindara (videti da li ima oštećenja na kočnim cilindrima i na vezama klipa i kočnog polužja).

Uzimajući u obzir navedene tehničke zahteve, na Mašinskom fakultetu u Nišu razvijen je uređaj za vizuelnu kontrolu podvozja železničkih vozila, skraćenog naziva ATUVIS.

3. OPIS UREĐAJA ATUVIS

Uređaj za vizuelnu kontrolu podvozja železničkih vozila ATUVIS (slika 2) koristi se za pregled podvozja, odnosno komponenti obrtnog postolja i sanduka železničkih vozila koji se mogu videti odozdo. Pregled se vrši na pruzi, tj. koloseku i zamenjuje pregled podvozja iz kanala. Ova vizuelna kontrola vrši se u skladu sa parametrima koji su od strane proizvođača železničkog vozila definisani u tehničkoj dokumentaciji i koji su verifikovani u procesu odobravanja vozila za saobraćaj.

U okviru probnih pregleda obavljeno je snimanje fiksiranom kamerom dok se vozilo kreće, međutim kvalitet snimaka je bio nezadovoljavajući. Posle brojnih proba utvrđen je koncept uređaja koji je opremljen kvalitetnom kamerom i postoljem

kamere koje je sposobno da se kreće po neravnom terenu koloseka. Kamera snima (fotografiše) delove vozila u različitim položajima koji joj omogućavaju pogoni za linearno kretanje u poprečnom pravcu u odnosu na kolosek tj. vozilo i rotaciju kamere oko svoje ose. Ovo obezbeđuje da se snime svi važni delovi obrtnog postolja.

Uređaj za vizuelnu kontrolu podvozja železničkih vozila ATUVIS sastoji se iz sledećih delova: noseće konstrukcije, opreme za kretanje, opreme za snimanje, uređaja za upravljanje i zaštitnih poklopaca. Noseća konstrukcija je izrađena od čeličnog lima i konstruisana je tako da mogu da se smeste svi potrebni uređaji. Na slici 2. prikazani su sastavni delovi uređaja ATUVIS.



Slika 2. Uređaj ATUVIS na terenu

Karakteristike uređaja prilagođene su specifičnoj funkciji u smanjenom i neravnom terenu. U tabeli 1. prikazane su osnovne karakteristike uređaja ATUVIS.

Tabela 1. Osnovne karakteristike uređaja ATUVIS

Veličina uređaja: visina, dužina, širina	1227 x 1225 x 228 mm
Veličina uređaja sa demontiranom platformom za kameru	1227 x 920 x 228mm
Klirens (rastojanje između najniže tačke uređaja i površine puta kretanja točkova)	76 mm
Ukupna masa uređaja	60 kg
Vreme snimanja podvozja železničkog vozila	do 20 minuta
Operativno vreme korišćenja uređaja	8 sati
Napon baterije	48 V
Kapacitet baterije	30 Ah
Maksimalna brzina kretanja	1 km/h
Preporučena vrednost brzine kretanja prilikom pregleda	0,4 km/h

Osnovni delovi uređaja:

- ultrazvučni senzori služe za održavanje pravca uređaja tokom kretanja;
- akumulator služi za napajanje motora za kretanje uređaja po koloseku pruge i napajanje motora za kretanje kamere;
- ručice služe za prenošenje uređaja;
- LED osvetljenje služi za osvetljivanje podvozja železničkog vozila tokom pregleda;
- kamera je akciona kamera tip GoPro HERO 11;
- antena (dva komada) služe za bolju vezu sa spoljnim uređajem za kontrolu ATUVIS uređaja;
- pogonski motori (četiri komada) služe za pogon točkova;
- industrijski računar služi za kontrolu uređaja i skladištenje fotografija;
- točkovi su od pune gume prečnika 215 mm i širine 50 mm;
- poklopci (dva komada) služe za zaštitu unutrašnjih delova uređaja;
- uređaj može da radi u automatizovanom i manuelnom režimu rada.

Automatizovani režim rada podrazumeva da se uređaj postavi u početnu poziciju ispod prednjeg dela lokomotive (vozila). Posle toga se startuje automatizovani režim rada koji na prethodno predefinisanim pozicijama slika podvozje lokomotive i nakon obavljenog pregleda uređaj se vraća na početno mesto.

Manuelni režim rada podrazumeva da korisnik preuzme upravljanje uređajem na korisničkom interfejsu. U tom slučaju korisnik može da pokreće uređaj napred nazad pri čemu uređaj održava poziciju između šina. Korisnik dovodi uređaj do odgovarajućeg položaja uzduž lokomotive, a zatim preuzima kretanje pozicije kamere levo-desno na platformi do željene pozicije, a nakon toga on onda usmerava kameru prema željenom delu lokomotive.

Na slici 3 prikazan je pregled uređajem ATUVIS električne lokomotive Srbija kargo tip 444-006 na železničkoj stanici Crveni krst u Nišu obavljen dana 22.3.2023. godine. U okviru pregleda napravljeno je čak 135 fotografija od kojih su dve prikazane slici 4.

Primena uređaja za vizuelnu kontrolu podvozja železničkih vozila u okviru kontrolnih pregleda



Slika 3. Pregled električne lokomotive Srbija kargo na železničkoj stanici Crveni krst u Nišu.



Slika 4. Pregled električne lokomotive Srbija kargo na železničkoj stanici Crveni krst u Nišu.

Pored osnovnih podataka o uslovima snimanja sa pregleda lokomotive 444-006 uređajem ATUVIS, izveštaj sadrži i 135 fotografija. Ukupno vreme snimanja podstroja lokomotive 444-006, u automatizovanom režimu rada iznosilo je 10 minuta od postavljanja uređaja na početnu poziciju. Izveštaj sa vizuelnog pregleda dat je u Tabeli 2.

Tabela 2. Izveštaj sa vizuelnog pregleda

OPŠTI PODACI O PREGLEDU VOZILA			
Lokomotiva	444 - 006	Broj slika	135
Datum pregleda	22.03.2023.	Nulti položaj uređaja (upravljavnica)	1 (A)/2 (B)
Vreme trajanja pregleda	9:49 - 9:59 (10 min) – Sunčano	Uočeni defekti i nedostaci na lokomotivi	Da/Ne
Mesto pregleda	Crveni Krst železnička stanica Niš	Ugao kamere φ_1 [°]	-45,0,45
Broj pozicija uređaja	9	Ugao kamere φ_2 [°]	0,45, 60, 90, 120, 135, 150
Stanje lokomotive	Lokomotiva u saobraćaju	Vlasnik lokomotive	Srbija Kargo
Pregled izvršili	Marko Perić, Dušan Stamenković		
Zapažanja	Uočeno defekt: naprsnuće trougaone motke iza 4. osovine.		

4. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH PREGLEDA

U okviru projekta, izvršeno je dvadeset snimanja podvozja različitih električnih lokomotiva na različitim terenima (stanicama), i shodno rezultatima tog ispitivanja, može da se zaključi da uređaj ima isti ili bolji nivo pouzdanosti u odnosu na ljudskog operatera, koji vrši pregled iz kanala (Tabela 3).

Sve lokomotive, čije je podvozje pregledano upotrebom uređaja ATUVIS u periodu januar-maj 2023. godine, bile su u eksploataciji što znači ispravne za saobraćaj. Naime, ta vozila su bila podvrgnuta servisnim pregledima ili nekim periodičnim kontrolnim pregledima u periodu od nekoliko dana pre izvršenih snimanja uređajem ATUVIS o čemu je postojala uredna dokumentacija vlasnika vozila. U tim pregledima utvrđeno je da su lokomotive ispravne za saobraćaj i da na njima ne postoje defekti, što je u većini slučajeva potvrđeno i pregledima uređajem ATUVIS.

Tabela 3. Hronološki prikaz izvršenih pregleda

Red. br.	Datum	Lokomotiva/vlasnik	Mesto izvršenog pregleda	Broj snimaka	Napomena
1.	10.01.2023.	461-001 Srbija Voz	Radionica fabrike MIN Lokomotiva	52	Lok. neispravna, čeka opravku
2.	12.01.2023.	441-708 Srbija Voz	Radionica fabrike MIN Lokomotiva	64	Lok. neispravna, čeka opravku
3.	16.01.2023.	461-130 Srbija Kargo	Železnička stanica Crveni Krst	101	Lok. u saobraćaju
4.	19.01.2023.	461-151 Srbija Kargo	Železnička stanica Crveni Krst	360	Lok. u saobraćaju
5.	19.01.2023.	461-151 Srbija Kargo	Železnička stanica Crveni Krst	296	Dopunski pregled sa dopunom parametara
6.	25.01.2023.	444-017 Srbija Kargo	Depo ZOVS, Srbija Kargo, Niš	41	Lok. neispravna, čeka opravku
7.	02.02.2023.	444-030 Srbija Kargo	Železnička stanica Crveni Krst	362	Lok. u saobraćaju - Vreme vedro ~5°C
8.	02.02.2023.	444-030 Srbija Kargo	Železnička stanica Crveni Krst	124	Dopunski pregled sa izmenom parametara
9.	02.02.2023.	47-376 PIMK	Železnička stanica Crveni Krst	486	Lok. u saobraćaju - Vreme vedro ~7°C
10.	21.02.2023.	1141-379 PIMK	Ranžirna stanica u Popovcu	564	Lok. u saobraćaju Vreme sunčano ~10°C
11.	21.02.2023.	1141-379 PIMK	Ranžirna stanica u Popovcu	567	Dopunski pregled sa izmenom parametara Vreme sunčano 15°C
12.	21.02.2023.	1141-379 PIMK	Ranžirna stanica u Popovcu	156	Dopunski pregled sa izmenom parametara Vreme sunčano ~17°C
13.	24.02.2023.	441-601-3 Srbija Voz	Kolosek u fabrici MIN Lokomotiva	579	Lokomotiva na izlazu iz vanredne opravke - Vreme oblačno ~8°C
14.	16.03.2023.	47-376 PIMK	Ranžirna stanica u Popovcu	135	Lokomotiva u saobraćaju - Vreme susnežica ~2°C
15.	22.03.2023.	444-006 Srbija Kargo	Železnička stanica Crveni Krst	135	Lokomotiva u saobraćaju - Vreme sunčano ~15°C
16.	22.03.2023.	444-006 Srbija Kargo	Železnička stanica Crveni Krst	135	Dopunski pregled sa promenom pravca kretanja uređaja - Vreme sunčano ~15°C
17.	29.03.2023.	1080-007 SIEMENS Smartron	Železnička stanica Dimitrovgrad	540	Lokomotiva u saobraćaju - Vreme sunčano ~6°C
18.	29.03.2023.	1080-007 SIEMENS Smartron	Železnička stanica Dimitrovgrad	540	Dopunski pregled sa promenom pravca kretanja uređaja - Vreme sunčano ~9°C
19.	11.04.2023.	461-124 Srbija Kargo	Železnička stanica Crveni Krst	819	Lokomotiva u saobraćaju - Vreme oblačno ~10°C
20.	26.04.2023.	444-016 Srbija Kargo	Železnička stanica Crveni Krst	188	Lokomotiva u saobraćaju - Vreme oblačno ~8°C

Primena uređaja za vizuelnu kontrolu podvozja železničkih vozila u okviru kontrolnih pregleda

Izuzetak je uočeno naprsnuće trougaone motke kočnog polužja na lokomotivi 444-006 dana 22.3.2023. godine na stanici Crveni Krst, o čemu smo obavestili odgovorna lica operatera Srbija Kargo. U izveštaju o pregledu uređajem ATUVIS prikazan je uočeni defekt na dve fotografije, koje su napravljene iz dve različite pozicije (Slika 5).



Slika 5. Defekt naprsnuća trougaone motke uočen na pregledu lokomotive 444-006

5. ZAKLJUČAK

Zaključak je da pregled podvozja lokomotiva uređajem ATUVIS može da zameni dosadašnji klasičan pregled pregledača iz kanala, ali i da ima značajnu prednost u odnosu na klasičan pregled, s obzirom na to da može da se izvrši na koloseku železničke stanice i to svakodnevno u periodu čekanja za narednu vuču vozova. Sve aktivnosti oko pregleda uređajem ATUVIS (postavljanje uređaja na kolosek ispred lokomotive, kretanje uređaja i snimanje podvozja lokomotive, odnošenje uređaja, kao i pregled svih fotografija) traju ukupno 30 do 40 minuta.

Druga značajna prednost primene uređaja ATUVIS za servisni pregled podvozja lokomotiva je u tome što je izvršeni pregled lokomotive dokumenovan fotografijama i to je dokument za dosije o održavanju lokomotive koje lica za održavanje (ECM) treba da vodi.

Uređaj može značajno da smanji troškove za operatere jer mogu servisne preglede da obave na samoj stanici, tj. ne moraju da šalju do radionice koja ima kanal.

Uređajem ATUVIS može da se vrši snimanje podvozja različitih tipova železničkih vozila: dizel i električnih lokomotiva, dizel i elektro motornih vozova, teretnih kola i dr.

LITERATURA

- [1] D. Stamenković: Održavanje železničkih vozila, Mašinski fakultet Niš, 2011.
- [2] Lagnebäck R.: Evaluation of wayside condition monitoring technologies for condition-based maintenance of railway vehicles, Luleå University of Technology-Sweden, 2007.
- [3] Zheng Huang, Integrated Railway Remote Condition Monitoring, doctor thesis, University of Birmingham, 2016.
- [4] E. M. Vinberg, M. Martin, A. H. Firdaus, Y. Tang, Railway Applications of Condition Monitoring, Technical Report, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm 2018.
- [5] Ngigi, R, Pislaru, Crinela, Ball, Andrew and Gu, Fengshou, Modern techniques for condition monitoring of railway vehicle dynamics, Journal of Physics Conference Series, 2012.
- [6] D. Stamenković, M. Banić, A. Miltenović, M. Simonović, Modern approaches to condition monitoring of railway assets, Proceedings of 26th international conference „CURRENT PROBLEMS IN RAIL VEHICLES - PRORAIL 2023“, Žilina, Slovakia, 2023, p.p. 251-260.
- [7] <https://www.wg-plc.com/product/under-train-carriage-inspection-system>
- [8] Pravilnik o održavanju železničkih vozila, Službeni glasnik RS 144/2020, datum 27.11,2020.

DEJAN VOLARAC*, NORBERT PAVLOVIĆ, MILIVOJE ILIĆ

PRIMENA QGIS SOFTVERA ZA OBRADU PODATAKA O PUTNO-PRUŽNIM PRELAZIMA

APPLICATION OF QGIS DATA PROCESSING SOFTWARE ON RAILWAY CROSSINGS

Datum prijema rada: 10.7.2024. god.

Datum prihvatanja rada: 18.8.2024. god.

UDK: 656.2+004:625.1/.5

REZIME:

Rad se fokusira na analizu mogućnosti primene QGIS softvera za obradu podataka o putno-pružnim prelazima (PPP) na primeru pruga u Srbiji, koji predstavljaju ključne tačke interakcije između drumskog i železničkog saobraćaja sa značajnim rizikom od nesreća. Baze podataka o vanrednim događajima vode se preko eksel tabela putnih prelaza na prugama u Srbiji i tabela evidentiranih nesreća i nezgoda. QGIS sistem je predstavljen preko uvodnih razmatranja i istorijata, a zatim je predstavljena najnovija verzija sa mogućnostima primene uopšte i posebno u železničkom saobraćaju. Obrada podataka korišćenjem QGIS sistema prikazana je kroz načine kreiranja novog projekta u QGIS-u i grafički korisnički interfejs QGIS-a. Dati su procesi kreiranja Sloja (Layer) i ubacivanja Mape, kreiranja sloja i ubacivanja pruga i PPP, unosa geografskih tačaka putem koordinata i putem koda. Značajno mesto zauzima vizualizacija i analiza podataka, kao i mogućnost prikaza podataka putem *HTML map tips* -a u QGIS-u. Implementacija QGIS softvera u radu obuhvatila je prikaz PPP i analizu koncentracije u Srbiji. Korišćenjem baze podataka o PPP i nesrećama u periodu od pet godina identifikovane su zona sa najvećim brojem PPP, bezbednosni aspekti najopterećenijih pruga i izvršena je prostorna analiza cele železničke mreže.

Ključne reči: QGIS, železnica, putno-pružni prelazi, nesreće, baze podataka

SUMMARY:

The paper focuses on the analysis of the possibility of applying QGIS software for processing data on road-railway crossings on the example of railways in Serbia, which represent key points of interaction between road and rail traffic with a significant risk of accidents. Databases on extraordinary events are maintained through Excel tables of road crossings on railways in Serbia and tables of recorded accidents and incidents. The QGIS system is presented through introductory considerations and history, and then the latest version is presented with the possibilities of application in general and in railway traffic in particular. Data processing using the QGIS system is shown through the ways of creating a new project in QGIS and the graphical user interface of QGIS. The processes of creating a layer and inserting a map, creating a layer and inserting tracks and road-railway crossings, entering geographic points via coordinates and via code are given. A significant place is occupied by data visualization and analysis, as well as the ability to display data via *HTML map tips* in QGIS. The implementation of the QGIS software in the work included the display of road-railway crossings and the analysis of the highest concentrations of them in the entire territory of Serbia. By using the database on road-railway crossings and accidents over a period of five years, the zone with the largest number of crossings, the safety aspects of the busiest railways, and a spatial analysis of the entire railway network were identified.

Keywords: QGIS, Railway, Level Crossings, Accidents, Databases

*Dejan Volarac, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, volarac.dejan99@gmail.com

1. UVOD

Rad se bavi analizom putno-pružnih prelaza (PPP), koji predstavljaju ključne tačke interakcije između drumskog i železničkog saobraćaja. Ove tačke su od izuzetnog značaja za bezbednost i efikasnost saobraćaja, jer predstavljaju kritična mesta interakcije dve različite vrste saobraćaja. To su mesta na kojima je najveći rizik od nesreća. Analiza i unapređenje bezbednosti na ovim prelazima može značajno doprineti smanjenju broja nesreća i unapređenju ukupne saobraćajne infrastrukture. Cilj rada je da se prikaže mogućnost primene QGIS sistema kao baze podataka o stanju PPP na železničkoj mreži u Srbiji. Prikazan je način obrade podataka korišćenjem QGIS sistema, tj. kroz način kreiranja novog projekta u QGIS-u i grafički korisnički interfejs QGIS-a. Dati su procesi kreiranja Sloja (Layer-a) i ubacivanja Mape, kreiranja sloja i ubacivanja pruga i PPP, unosa geografskih tačaka putem koordinata i putem koda. Značajno mesto zauzima vizualizacija i analiza podataka, kao i mogućnost prikaza podataka putem HTML map tips -a u QGIS-u. Implementacija QGIS softvera u radu obuhvata je prikaz PPP i analizu koncentracije u Srbiji.

Rad se bazira na detaljnoj analizi trenutnog stanja putno-pružnih prelaza, pregledima relevantne literature i regulativa, kao i na studijama slučajeva. Rad je organizovan u šest poglavlja. Nakon uvodnih razmatranja, u drugom poglavlju razmatraju se osnovni pojmovi u vezi sa putno-pružnim prelazima, načinima osiguranja i načinima prijavljivanja nesreća i nezgoda. U trećem poglavlju prikazana je baza podataka korišćena za izradu rada, kao i obrađeni karakteristični podaci o PPP koji su primenjeni i implementirani u softveru QGIS.

U četvrtom poglavlju nalaze se osnove rada u QGIS softveru, mogućnosti rada samog softvera, kao i mogućnosti njegove implementacije u železnici, dok je u petom poglavlju prikazana obrada podataka, primena softvera kao i vizuelni prikaz podataka o PPP putem HTML-a. Na kraju su izložena zaključna razmatranja.

2. PUTNO-PRUŽNI PRELAZI

Putno-pružni prelazi, denivelacija, signalizacija,

održavanje infrastrukture, edukacija učesnika u saobraćaju i tehnološka rešenja ključni su faktori koji obezbeđuju bezbedno i efikasno obavljanje drumskog i železničkog saobraćaja. Ove mere smanjuju rizik od nesreća i obezbeđuju zaštitu učesnika u saobraćaju, osiguravaju funkcionalnost infrastrukture i bezbednost učesnika u saobraćaju na svim nivoima.

Putno-pružni prelaz [1] je mesto ukrštanja železničke pruge, koja pripada javnoj železničkoj infrastrukturi, industrijskoj železnici ili industrijskom kolo- seku i puta u istom nivou, koji obuhvata i ukrštanje tih koloseka sa pešačkom ili biciklističkom stazom, u širini od 3 m mereno od ose koloseka, uključujući i prostor između koloseka kada se na putnom prelazu nalazi više koloseka.

Zona potrebne preglednosti je trodimenzionalni prostor preglednosti u kome se vrši bezbedno zaustavljanje drumskih vozila ispred saobraćajnog znaka koji označava mesto na kome put prelazi preko železničke pruge na putnom prelazu. Zona potrebne preglednosti mora biti obezbeđena učesnicima drumskog saobraćaja na svakoj tački puta ispred putnog prelaza, a određuje se na osnovu vrednosti računске brzine drumskih vozila i najveće dopuštene brzine železničkog vozila na pruzi [1].

Mesto ukrštanja železničke pruge i puta je [1] mesto u naseljenom ili van naseljenog područja grada ili opštine, na mestu gde se presecaju osa koloseka železničke pruge i osa kolovoza puta, u nivou koloseka (putni prelaz) ili van nivoa koloseka (denivelisanim putnim objektom), a koje je kao takvo planirano urbanističkim ili prostornim planom lokalne samouprave (grada ili opštine).

Signalno-sigurnosni uređaj na putno-pružnom prelazu je uređaj železničke infrastrukture koji aktivira putnu saobraćajnu signalizaciju na putnom prelazu, kojom se učesnicima u drumskom saobraćaju neposredno najavljuje nailazak železničkih vozila i upozoravaju da kretanje prilagode tako da se bezuslovno moraju zaustaviti ispred putnog prelaza jer neposredno predstoji prolazak železničkog vozila [1].

2.1. Način ukrštanja železničkog i drumskog saobraćaja i mere za osiguranje bezbednosti saobraćaja na PPP

Ukrštanje železničke pruge i puta, pešačke ili biciklističke staze vrši se na dva načina i to:

1. van nivoa koloseka, izgradnjom objekta drumske denivelacije, odnosno putnog podvožnjaka ili nadvožnjaka, pešačkog ili biciklističkog pothodnika ili nadvožnjaka ili pešačkih pasarela;
2. u nivou koloseka, izgradnjom putnih prelaza, sa odgovarajućom opremom ili uređajima za obezbeđenje saobraćaja, kao i na zajedničkom železničko-drumskom mostu sa kolovozom puta u nivou koloseka i po trasi koloseka.

Mere za osiguranje bezbednog saobraćaja na putnim prelazima zavise od gustine saobraćaja, preglednosti železničke pruge, brzine vožnje na pruzi i putu i od mesnih uslova u skladu sa zakonom kojim se uređuje bezbednost i interoperabilnost železnice. Saobraćaj na putnim prelazima obezbeđuje se:

1. saobraćajnim znakovima na putu i zonom potrebne preglednosti;
2. svetlosnim saobraćajnim znakovima i saobraćajnim znakovima na putu;
3. automatskim polubranicama sa svetlosnim saobraćajnim znakovima i saobraćajnim znakovima na putu;
4. branicima i saobraćajnim znakovima na putu;
5. neposrednim regulisanjem saobraćaja na putnom prelazu i posebnim merama;
6. zaštitnim ogradama i saobraćajnim znakovima ili mimoilaznicama i saobraćajnim znakovima na putnim prelazima za pešake i bicikliste.

Saobraćajni znakovi na putu ispred putno-pružnih prelaza su:

1. znak koji označava mesto na kome put prelazi preko železničke pruge u nivou koloseka,
2. znak za ograničenje brzine.

Na PPP prelazima opremljenim signalno-sigurnosnim uređajima mogu se instalirati video- kamere za vizuelni nadzor zone putnog prelaza, železničke imovine, zauzetosti kolovoza i izvršenja bezbed-

nosti saobraćaja, kao i nadzor svih učesnika saobraćaja na putnom prelazu [1].

2.2. Obezbeđenje saobraćaja na PPP

Putno-pružni prelazi mogu i moraju biti obezbeđeni na jedan od ova tri načina:

1. svetlosnim saobraćajnim znakovima i saobraćajnim znakovima na putu (slika 1),
2. automatskim polubranicama sa svetlosnim saobraćajnim znakovima,
3. branicima i saobraćajnim znakovima (slika 2).



Slika 1. Putno-pružni prelaz u nivou bez branicila ili polubranila (greška)



Slika 2. Putno-pružni prelaz u nivou sa branicilima

Svetlosnim saobraćajnim znakovima i saobraćajnim znakovima na putu obezbeđuje se saobraćaj samo na mestu ukrštanja jednokolosečne železničke pruge i puta. Svetlosni saobraćajni znak, kada je aktiviran, prema putu pokazuje crveno trepćuće svetlo usmereno tako da je jasno vidljivo sa puta. Ispravnost svetlosnih saobraćajnih znakova na putnom prelazu kontroliše se u posednutom železničkom službenom mestu ili kontrolnim pružnim signalima na železničkoj pruzi. Svetlosnim saobraćajnim znakovima mogu se dodati zvučni signali, u skladu sa propisima kojima se uređuje saobraćajna sig-

nalizacija na putevima i tehnički uslovi za signalno-sigurnosne uređaje, radi podsticanja pažnje i opreznosti kod učesnika u drumskom saobraćaju. Zvučni signal se daje neprekidno, sve vreme dok svetlosni saobraćajni znak pokazuje crveno trepćuće svetlo [1].

Automatskim polubranicama sa svetlosnim saobraćajnim znacima i saobraćajnim znacima na putu, vrši se obezbeđenje saobraćaja na putnim prelazima, i to [1]:

1. magistralne železničke pruge sa državnim putevima I reda, kao i II reda sa drumskim saobraćajem na prelazu preko železničke pruge sa prosečnim protokom većim od 2.500 drumskih vozila;
2. magistralne i regionalne železničke pruge i puta, ako je najveća dopuštena brzina na pruzi veća od 120 km/h i
3. ostalih železničkih pruga sa putevima, ako je na putu prosečan protok veći od 5.000 drumskih vozila.

Branicama i saobraćajnim znacima na putu vrši se obezbeđenje saobraćaja na putnom prelazu u naseljenom mestu i na drugim mestima gde je to saobraćajno-tehnički opravdano. Branikom se drumski saobraćaj zatvara preko cele širine puta kada se železničko vozilo približava putno-pružnom prelazu. Obezbeđenje saobraćaja uređajima sa branicama i saobraćajnim znacima na putu vrši se na mestima gde je to saobraćajno-tehnički opravdano. Drumski saobraćaj na celoj širini kolovoza puta ispred koloseka, sa obe strane železničke pruge, zatvara se branikom. Branici prema načinu pogona mogu da budu na električni i na mehanički pogon. Prema mestu upravljanja mogu da budu oni kojima se upravlja iz daljine i na licu mesta [1].

2.3. Prijavljivanje nesreća i nezgoda

Na puto-pružnim prelazima najčešći uzrok pojave vanrednih događaja jeste sudar drumskog i železničkog vozila. Pri takvim situacijama obavezno je da upravljač železničke infrastrukture i prevoznik, bez odlaganja, telefonom prijave nesreću i nezgodu Centru za istraživanje nesreća u saobraćaju (CINS) i republičkom inspektoru za železnički saobraćaj. Prijava mora da sadrži

sledeće podatke:

1. opis nesreće ili nezgode;
2. datum i vreme (čas i minut) nastanka nesreće ili nezgode;
3. mesto nesreće ili nezgode (naziv službenog mesta, kilometarski položaj otvorene pruge, objekat i sl.);
4. podatke o usmrćenima, povređenima i materijalnoj šteti;
5. ako je nastalo ugrožavanje okoline, navesti kako (curenje opasnih materija i sl.);
6. aktivirane mere za spasavanje, angažovanje službi hitne pomoći, policije itd.;
7. podatke o vozovima ili manevarskim sastavima;
8. opis infrastrukturnih podsistema na mestu nesreće ili nezgode;
9. vremenske uslove i geografske karakteristike terena;
10. da li je nastalo zakrčenje susednih koloseka;
11. preuzete mere radi zaštite i osiguranja mesta nesreće ili nezgode;
12. podatke o železničkom osoblju i izvođačima radova koji su uključeni u nesreću ili nezgodu i prisutnim svedocima;
13. podatke o podnosiocu prijave;
14. druge relevantne podatke.

Pored toga upravljač železničke infrastrukture i prevoznik dostavljaju pisanu prijavu Centru za istraživanje nesreća u saobraćaju i republičkom inspektoru za železnički saobraćaj elektronskim putem u roku od 24 sata od nastanka nesreće ili nezgode u železničkom saobraćaju. Pisana prijava, pored osnovnih (prethodno navedenih) podataka, mora da sadrži:

1. detaljan opis nesreće ili nezgode;
2. detaljne podatke o vozovima i njihovom sastavu (brojeve vozova, relaciju saobraćaja, individualne brojeve vučnih i vučenih vozila, tovareno/prazno, vrsta tovara);
3. detaljan opis infrastrukturnih podsistema na mestu nesreće ili nezgode;
4. broj usmrćenih i/ili povređenih lica, sa naznakom da li su železničko osoblje, putnici, izvođači radova ili treća lica;
5. podatke o materijalnoj šteti (na čemu je nastala i, po mogućnosti, procena štete);

6. podatke o prekidu saobraćaja, o zakašnjenju i otkazivanju vozova, da li je nastalo zakrčenje susednih koloseka;
7. upotrebljena sredstva za otklanjanje posledica i pružanje pomoći nastradalima;
8. podatke o ustanovama za pružanje medicinske pomoći, policiji i drugim organima i službama koji su izašli na mesto nesreće ili nezgode;
9. detaljan opis preduzetih mera za osiguranje mesta nesreće ili nezgode;
10. sve druge relevantne podatke kojima se raspoložuje u vezi sa nesrećom ili nezgodom.

Ovi podaci su od izuzetnog značaja za obradu i dokumentovanje događaja u slučaju nesreća ili nezgoda u železničkom saobraćaju [2].

3. OBRADA BAZE PODATAKA O SAOBRAĆAJNIM NESREĆAMA

3.1. Tabela PPP na prugama u Srbiji

Excel tabela svih putno-pružnih prelaza (tabela 1) na mreži pruga u Republici Srbiji sadrži sledeće podatke: šifru pruge, broj pruge na kojoj se posmatrani putno-pružni prelaz nalazi, naziv pruge, ZOP kome pripada, kolosečnost pruge, broj koloseka na putno-pružnom prelazu, širinu putno-pružnog prelaza, površinu putno-pružnog prelaza, kilometarski položaj, ime nadležne stanice za odgovarajući putno-pružni prelaz, način osiguranja kao i ostale relevantne podatke, imala je ključnu ulogu u izradi ovog rada.

Tabela 1. Deo prikaza evidencije putno-pružnih prelaza u Srbiji

Red. br. PPP.	Šifra pruge	Broj pruge	Klasa pruge	Naziv pruge	ZOP	Kolosečnost	Broj koloseka na P.P.	Širina P.P.P. (m)	Površina P. P.P. (m ²)	Km položaj na osovini puta	Nadležna stanica	Način osiguranja	Vrsta kolovoza	Ugao ukrštanja pruge i puta (stepeni)	Trougao vidljivosti	Kategorija puta	Poseđutost PPP.	Nosilac prava koriscenja
1	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	6.0	36.0	0+431.00	Resnik	3	4	90	da	ulica	ne	1
2	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	3.0	18.0	8+012.00	B. Reka	1	4	90	da	poljski	ne	1
3	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	3.0	18.0	19+315.00	V. Borak	1	2	90	da	poljski	ne	1
4	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	9.0	54.0	20+497.00	V. Borak	3	2	60	da	lokalni	ne	1
5	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	3.0	18.0	21+942.00	V. Borak	1	4	90	da	poljski	ne	1
6	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	6.0	36.0	24+269.00	V. Borak	3	4	90	da	lokalni	ne	1
7	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	3.0	18.0	25+321.00	V. Borak	1	4	90	da	poljski	ne	1
8	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	4,5	30.0	27+708.00	Stepojevac	1	4	90	da	poljski	ne	1
9	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	3.0	18.0	28+547.00	Stepojevac	1	2	90	da	poljski	ne	1
10	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	4.0	24.0	29+952.00	Stepojevac	1	2	90	da	poljski	ne	1
11	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	4,5	27.0	31+198.00	Stepojevac	1	2	90	da	poljski	ne	1
13	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	4,5	30.0	33+484.00	Stepojevac	3	2	90	da	lokalni	ne	1
14	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	6.0	36.0	35+250.00	Vreoci	3	2	90	da	lokalni	ne	1
15	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	6.0	36.0	38+516.00	Vreoci	3	5, 2	90	da	lokalni	ne	1
16	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	6.0	36.0	42+656.00	Lazarevac	3	5, 2	60	da	lokalni	ne	1
17	108	1	MG	Bgd.-Resnik-Podgorica-Bar	Valjevo	J	1	6.0	36.0	46+822.00	Lazarevac	1	5, 2	90	da	lokalni	ne	1

3.2. Tabele evidentiranih nesreća i nezgoda

Eksel tabele o evidentiranim nesrećama i nezgodama (tabele 2. i 3.) koriste se kao glavni izvor

podataka, a od podataka poseduju datum, vreme, mesto nesreće, broj pruge, vrstu i uzrok nesreće, kao i kratak opis vanrednog događaja, broj usmrćenih i povređenih lica, kao i podatke o troškovima koji su

nastali pri nesrećama i nezgodama [3].

Pri izradi rada akcent je stavljen na korišćenje obe baze podataka, ali je preciznije proučavanje usmereno na analizu nesreća i incidenata koji su se desili na PPP. Primenom metoda i tehnika u QGIS softveru izvršena je detaljna obrada tih podataka o pojedinim relevantnim događajima, sa fokusom

na identifikaciju i analizu specifičnih slučajeva nesreća koje su se odigravale na prelazima u odbranom periodu od pet godina. Ova analiza je omogućila dublje razumevanje dinamike i uzroke incidenata na prelazima, što je od suštinskog značaja za dalje unapređenje bezbednosti i efikasnosti upravljanja saobraćajem na železničkim presečnim tačkama.

Tabela 2. Deo prikaza evidentiranih Saobraćajnih nesreća u Srbiji

Datum	Vreme	Mesto	Vrsta	Uzrok	Kratak opis	Usmrćeno			Povređeno			Pregazeno vozila	Prekid saobraćaja (h)	Šteta (RSD)
						Putnika	Železničara	Trećih lica	Putnika	Železničara	Trećih lica			
1/1/2018	13:05	Požega	3	36	Pri manevri isklizla kola br. 31724775006-8 na skretnici br. 33									121,448.00
1/4/2018	3:30	Ruma	16	58	Na PP u km 62+008 pad drumskog vozila na prugu, prekid saobraćaja							2		188,137.00
1/4/2018	8:14	Palanka	16	48	Nestanak napona, izgoreo naponski trafo							1		
1/5/2018	6:35	Senta	16	31	U km 60+870 i 60+500 polomljena šina i na više mesta otkinuta glava šine							28		
1/5/2018	15:45	Beograd	3	36	Pri manevri isklizla lok 621-301 između skretnica br. 22 i 23									
1/5/2018	23:00	Beograd	16	13	Na 2. koloseku došlo do samopokretanja kola br. 50722076008-0									
1/6/2018	2:25	Brvenik	16	27	Pucanje man. sastava kod kola br. 8072-3924214-0 i 317239 24109-2									456,311.00
1/6/2018	10:08	Lapovo	5	58	U km 107+000 usmrćeno treće lice od strane voza br. 6731			1				2		
1/6/2018	17:35	Požarevac	6	60	Požar na gariranim kolima na 4. koloseku izazvan od strane trećih lica									12,022,605.00

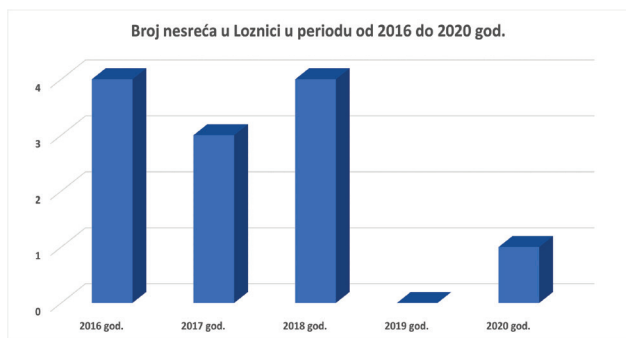
Tabela 3. Deo prikaza obrađenih podataka službenih mesta sa najvećim brojem nesreća na putno-pružnim prelazima u periodu od 2016-2020.

Datum	Vreme	Službeno mesto	Kilometarski položaj i kratak opis	Pruga	Šteta (RSD)	Odgovornost
3-Jan	19:26	Ruma	U km 62+008 nalet drumskog vozila na postavnu spravu PP	101	153,189.00	Vozač drumskog vozila
5-Feb	19:03		U km 62+008, na PP PBK 2, pad drumskog vozila na prugu	101	77,473.80	Vozač drumskog vozila
29-Aug	6:44		U km 3+285 nalet voza br. 5223 na drumsko vozilo	211	123,000.00	Vozač drumskog vozila
27-Nov	22:00		U km 62+008, na PP PBK 2, pad drumskog vozila na prugu	101	10,933.00	Vozač drumskog vozila
27-Dec	3:50		U km 62+008, na PP PBK 2, pad drumskog vozila na prugu	101		S-79
31-Dec	3:50		U km 62+008, na PP PBK 2, pad drumskog vozila na prugu	101		S-79
9-Jan	12:39	Pančevo Varoš	Na PP u km 0+907 nalet voza br. 7009 na drumsko vozilo	309	0	Vozač drumskog vozila
11-Feb	8:36		Na PP u km 17+544 nalet voza br. 7005 na drumsko vozilo	107	0	Vozač drumskog vozila
17-Jan	14:05	Kula	Na PP u km 46+200 nalet voza br. 6422 na drumsko vozilo	307	260,075.30	Vozač drumskog vozila
16-Jul	19:40		Na PP u km 39+000 nalet voza br. 4627 na drumsko vozilo	307	49,000.00	Vozač drumskog vozila

Tabela 4. Prikaz broja saobraćajnih nesreća na putno-pružnim prelazima odgovarajućih pruga

Broj pruge	Broj nesreća
101	29
102	40
103	6
105	9
106	14
107	9
108	14
109	10
110	5
111	1
202	6
207	10
208	1
211	33
213	8
216	4
218	9
219	11
223	8
Ukupno	227

Uz pomoć ovako sortiranih podataka veoma je lako da se utvrdi najopterećenija pruga na području celokupne železničke infrastrukture, kao i opterećenje svih ostalih pruga ako se upoređuju sve pruge na železničkoj mreži jedne sa drugom (slika 3).



Slika 3. Službeno mesto sa najvećim brojem nesreća u periodu od 2016. do 2020. godine (Loznica) [6]

4. QGIS

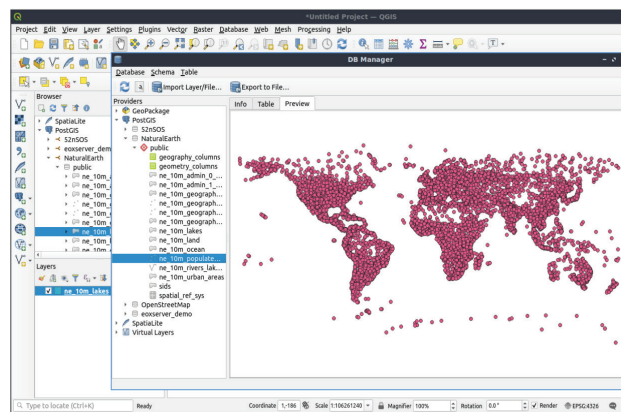
4.1. Uvod u QGIS

QGIS, poznat i kao Quantum GIS, geografski je informacioni sistem (GIS) otvorenog koda (stoga i besplatan), koji omogućava korisnicima da kreiraju, uređuju, vizualizuju, analiziraju i objavljuju prostorne informacije. QGIS podržava širok spektar vektorskih, raster i baznih formata podataka, uključujući format baze podataka PostGIS. Kao projekat otvorenog koda, QGIS je razvijala i održavala globalna zajednica programera i korisnika [4].

QGIS se koristi za različite svrhe, od osnovne kartografije do složenih prostorno-analitičkih zadataka. Njegova fleksibilnost i proširivanje ga čine pogodnim za širok spektar korisnika, uključujući istraživače, planere, inženjere, obrazovne institucije, vladine agencije i neprofitne organizacije.

4.2. Osnovne Funkcije QGIS-a

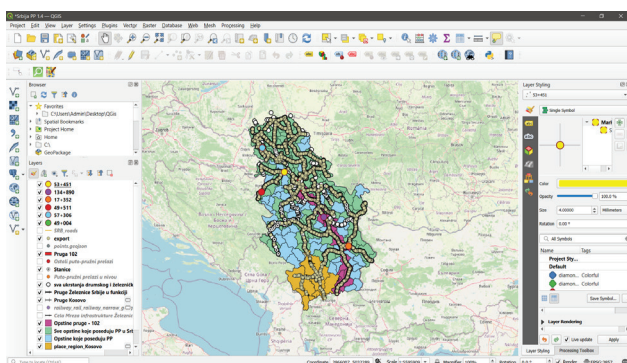
QGIS omogućava korisnicima da kreiraju i uređuju vektorske slojeve, podržavajući različite geometrije poput tačaka, linija i poligona (slika 4). Takođe, podržava direktno uređivanje podataka u bazama podataka poput PostGIS-a [4].



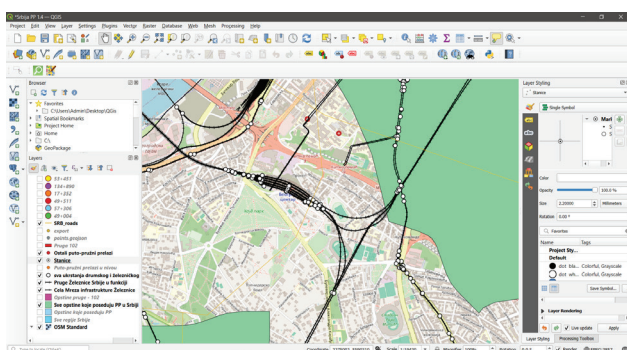
Slika 4. Prikaz naseljenih mesta na području cele planete u QGIS softveru

QGIS pruža veoma moćne alate za vizualizaciju podataka. Korisnici mogu da prilagodne stilove slojeva, pritom da koriste različite simbole, boje, oznake i da kreiraju složene karte koje prikazuju različite

aspekte prostornih podataka (slike 5. i 6).



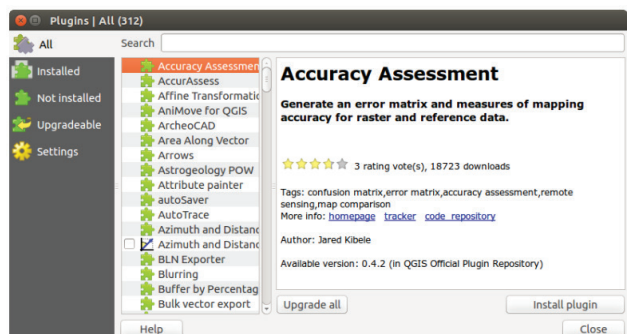
Slika 5. Vizuelni prikaz podataka na teritoriji Srbije u QGIS softveru



Slika 6. Vizuelni prikaz stanice Beograd Centar u QGIS softveru

Analiza. QGIS uključuje alate za prostornu analizu, uključujući geo procesiranje, analizu mreža, raster analizu i analizu statističkih podataka. Integracija sa GDAL/OGR bibliotekom dodatno proširuje mogućnosti analize.

Proširenja i Pluginovi. Jedna od ključnih snaga QGIS-a je podrška za proširenja i pluginove (slika 7).



Slika 7. Prozor sa pluginovima u QGIS softveru

Korisnici mogu instalirati dodatne module za specifične zadatke, kao što su analize vodnih tokova, prostorno modelovanje ili integracija sa drugim GIS platformama [4].

4.3. Istorijati QGIS-a

QGIS projekat je započeo 2002. godine Gary Sherman, koji je želeo stvoriti besplatan GIS alat koji bi mogao raditi na više platformi. Prva verzija QGIS-a (v0.1) objavljena je u julu 2002. godine. Ova prva verzija je bila prilično osnovna, sa ograničenim funkcionalnostima, ali je postavila temelje za dalji razvoj [4].

Kroz godine, QGIS je prošao kroz značajan razvoj i evoluciju. Kako se zajednica korisnika i programera širila, tako su se širile i funkcionalnosti QGIS-a. Neki od ključnih momenata u razvoju QGIS-a uključuju:

- 2004. godina: QGIS postaje GIS aplikacija koja podržava više platformi, uključujući Windows, Linux i macOS.
- 2006. godina: Dodavanje podrške za pluginove, što omogućava korisnicima i programerima da prošire funkcionalnost QGIS-a prema potrebama.
- 2008. godina: Integracija sa GRASS GIS-om, što omogućava korisnicima pristup moćnim alatima za prostornu analizu i modeliranje.
- 2010. godina: Objavljena verzija 1.5 koja donosi značajna unapređenja u interfejsu i performansama.
- 2013. godina: Objavljena verzija 2.0, koja uvodi mnoge nove funkcionalnosti i poboljšanja u korisničkom interfejsu.
- 2018. godina: Objavljena verzija 3.0, koja donosi mnoge tehnološke inovacije, uključujući podršku za 3D vizualizacije i unapređeni alat za crtanje [4].

4.4. QGIS Danas

Danas, QGIS je jedan od najpopularnijih i najmoćnijih GIS alata na svetu, sa aktivnom i posvećenom zajednicom koja kontinuirano radi na njegovom unapređenju i razvoju. Ovaj softver se široko koristi u raznim sektorima kao što su urbanizam, poljoprivreda, zaštita životne sredine, transport,

telekomunikacije, hidrologija, istraživanje prirodnih resursa, planiranje infrastrukture i dr.

QGIS se ističe svojom integracijom sa brojnim drugim otvorenim GIS alatima i platformama, kao što su GRASS GIS, SAGA GIS i PostGIS, što omogućava korisnicima da iskoriste širok spektar funkcionalnosti i resursa za analizu i obradu prostornih podataka. Ova integracija čini QGIS veoma moćnim i fleksibilnim alatom, sposobnim da odgovori na različite potrebe i zahteve korisnika.

Jedna od najvećih prednosti QGIS-a je njegova pristupačnost. Kao besplatan softver otvorenog koda, QGIS omogućava svim korisnicima, bez obzira na njihove finansijske mogućnosti, pristup naprednim GIS alatima i resursima. Ovaj pristupačan model omogućava široku upotrebu u akademskim institucijama, istraživačkim organizacijama, nevladinim organizacijama i manjim preduzećima koja možda nemaju resurse za skupe komercijalne GIS softvere.

Pored toga, otvorenost i transparentnost QGIS-a omogućavaju korisnicima da prilagode i prošire softver prema svojim specifičnim potrebama. Korisnici mogu razvijati sopstvene plagine i dodatke, što čini QGIS izuzetno fleksibilnim i prilagodljivim alatom za rad sa prostornim podacima. Zajednica korisnika i programera neprekidno doprinosi razvoju novih funkcionalnosti, popravci grešaka i poboljšanju performansi, što osigurava da QGIS ostane aktuelan i u skladu sa najnovijim tehnološkim trendovima i zahtevima.

Kroz razne obuke, radionice i onlajn resurse, QGIS zajednica promoviše edukaciju i obuku novih korisnika, što dodatno podstiče širenje i upotrebu ovog softvera širom sveta. QGIS je danas više od softvera – to je platforma za inovacije, saradnju i razmenu znanja u oblasti geoinformatike i prostornog planiranja.

Zahvaljujući svim ovim karakteristikama i prednostima, QGIS se pozicionirao kao ključni alat u savremenom upravljanju prostornim podacima i analizama jer omogućava korisnicima da efikasno i efektivno upravljaju svojim prostornim informacijama i donose informisane odluke [4].

4.5. Mogućnosti primene QGIS sistema

QGIS (Quantum GIS) moćan je geografski informacioni sistem otvorenog koda koji nudi širok spektar mogućnosti za rad sa prostornim podacima [5]. Ova aplikacija se često koristi u istraživanjima, planiranju, upravljanju resursima i drugim oblastima koje zahtevaju analizu i vizualizaciju geografskih informacija. Pregled nekih ključnih mogućnosti i sposobnosti koje QGIS nudi:

- **Geo prostorne analize.** QGIS omogućava izvođenje različitih geoprostornih analiza kao što su upiti za prostorne podatke, analiza prostorne distribucije, analiza udaljenosti, analiza rute i mnoge druge. Ove analize pomažu u razumevanju prostornih relacija i obrazaca.
- **Vizualizacija podataka.** Možete kreirati dinamičke i interaktivne karte koristeći različite slojeve podataka. QGIS podržava različite vrste podataka kao što su vektorski, raster i tabelarni podaci, omogućavajući vam da kombinujete različite izvore i vrste podataka u vašim mapama.
- **Uređivanje podataka.** QGIS omogućava uređivanje vektorskih podataka direktno u aplikaciji. Možete dodavati, izmenjivati i brisati geografske objekte, što je korisno za kreiranje i ažuriranje geografskih podataka.
- **Podrška za različite formate podataka.** QGIS podržava veliki broj formata podataka, uključujući Shapefile, GeoPackage, PostGIS, kao i mnoge druge formate vektorskih, raster i tabelarnih podataka. Ovo čini QGIS veoma fleksibilnim za rad sa različitim izvorima podataka.
- **Prostorne baze podataka.** QGIS ima podršku za povezivanje sa prostornim bazama podataka kao što su PostgreSQL/PostGIS, SQLite, Oracle Spatial, što omogućava efikasno upravljanje velikim količinama prostornih podataka.
- **Alati za analizu i obradu podataka.** QGIS dolazi sa širokim spektrom alata za analizu podataka kao što su alati za raster analizu, za interpolaciju, za površinsku analizu, za geo procesiranje i mnogi drugi, što omogućava napredne analize podataka direktno u aplikaciji.
- **Ekstenzije i dodaci.** QGIS ima veliku zajednicu koja razvija ekstenzije i dodatke koji dodaju dodatne funkcionalnosti aplikaciji. Ovi dodaci mogu

da obuhvate sve, od specijalizovanih alata za analizu do dodatnih opcija za vizualizaciju i obradu podataka.

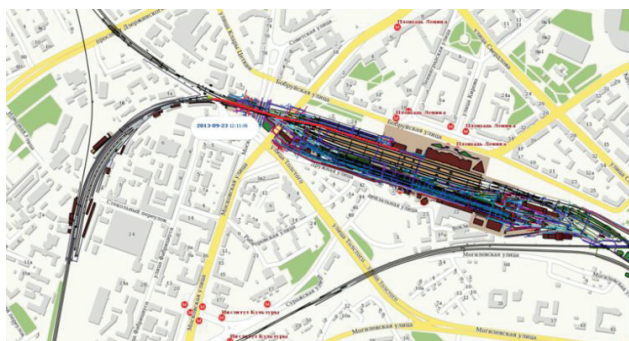
- **Otvoreni kod i zajednica.** Kao softver otvorenog koda, QGIS je besplatan za korišćenje i ima aktivnu zajednicu korisnika i razvojnih timova koji doprinose njegovom održavanju i razvoju. Ovo osigurava kontinuirano poboljšanje i podršku za korisnike širom sveta [9].

Ove mogućnosti čine QGIS svestranim alatom za sve korisnike koji rade sa prostornim podacima, bilo da su u pitanju naučno-istraživački projekti, planiranje, upravljanje resursima ili neke druge aplikacije koje zahtevaju upotrebu geografskih informacionih sistema.

4.6. Mogućnosti primene QGIS sistema u železničkom saobraćaju

U železničkom saobraćaju, efikasno upravljanje i planiranje infrastrukture su ključni za osiguravanje bezbednosti i ekonomske efikasnosti. Upravo u ovom kontekstu, Quantum GIS (QGIS) pokazao se kao moćan saveznik inženjera, planera i analitičara, omogućavajući im da detaljno analiziraju prostorne podatke i da donesu informisane odluke (slika 8).

Planiranje i optimizacija trase: QGIS omogućava detaljno modeliranje i analizu terena duž potencijalnih železničkih trasa. Koristeći digitalne visinske



Slika 8. Planiranje i optimizacija trase u QGIS softver-u

modele (DEM) i alate za analizu terena, inženjeri mogu optimizovati trase kako bi minimizirali nagibe, smanjili troškove gradnje i smanjili uticaj na životnu sredinu. Ovo je od ključne važnosti pri planiranju novih pruga ili pri rekonstrukciji postojećih.

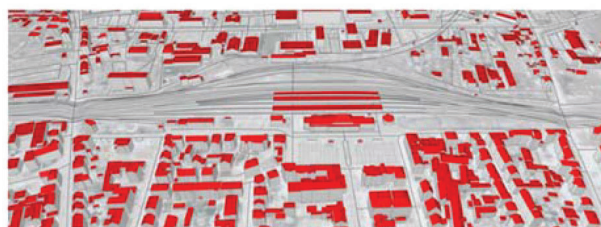
Analiza bezbednosti na prelazima: Bezbednost na putno-železničkim prelazima je jedan od najbitnijih aspekata železničke infrastrukture. QGIS omogućava analizu saobraćajnih tokova, gustine naseljenosti i karakteristike prelaza kako bi se identifikovala rizična mesta i predložila unapređenja koja bi povećala bezbednost korisnika i vozova.

Upravljanje imovinom i održavanje infrastrukture: Efikasno upravljanje železničkom infrastrukturom zahteva praćenje lokacija imovine, planiranje redovnog održavanja i brzu reakciju na potrebe održavanja. QGIS pruža alate za detaljno upravljanje imovinom, što omogućava efikasno planiranje resursa i produženje radnog veka infrastrukture.

Optimizacija operacija i analiza kapaciteta: Analiza kapaciteta železničkih pruga je ključna za optimizaciju rasporeda vozova i efikasnost operacija. QGIS omogućava analizu kapaciteta, što pomaže boljem razumevanju opterećenja mreže i identifikacija potencijalnih uskih grla ili problema sa kapacitetom.

Integracija sa drugim sistemima: QGIS se lako integriše sa drugim sistemima za upravljanje železničkim saobraćajem, kao što su informacioni sistemi o redu vožnje ili sistemi za praćenje vozova. Ova integracija omogućava praćenje vozova u realnom vremenu, bolju koordinaciju operacija i efikasniju razmenu informacija između različitih operativnih jedinica.

QGIS se stoga pokazao kao neophodan alat za modernizaciju i unapređenje železničkog saobraćaja (slika 9) jer omogućava stručnjacima da precizno modeliraju, analiziraju i optimizuju infrastrukturne projekte za stvaranje sigurnog, efikasnog i održivog železničkog sistema.

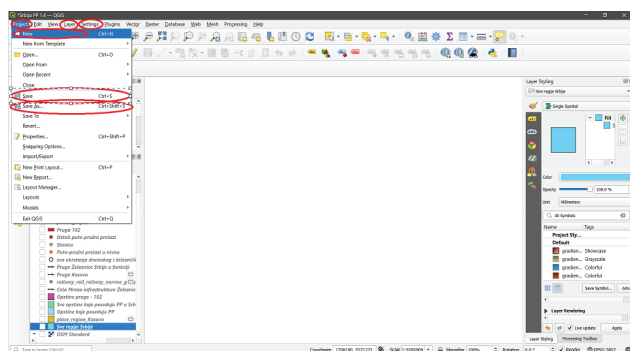


Slika 9. 3D prikaz železničke stanice u QGIS softveru

5. OBRADA PODATAKA KORIŠĆENJEM QGIS-A

5.1. Kreiranje novog projekta u QGIS-u

Kreiranje novog projekta u QGIS-u predstavlja osnovu za svaki geografski informatički rad i istraživanje. Ovaj proces započinje pokretanjem QGIS aplikacije na računaru (slika 10). Po otvaranju programa automatski se kreira novi prazan projekat, spreman za dodavanje podataka i početak rada. Ukoliko želimo da započnemo novi projekat tokom rada, jednostavno biramo opciju *Project > New* ili kliknemo na ikonu *New Project* na alatnoj traci.



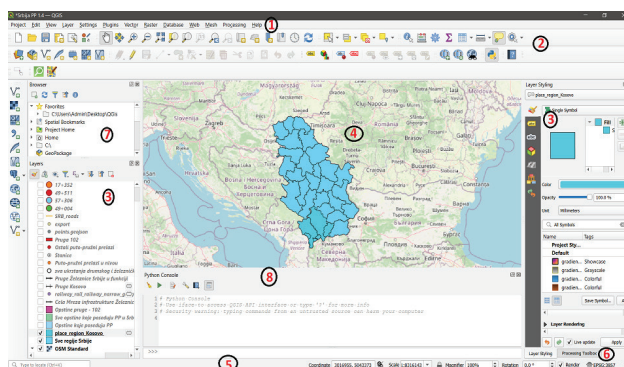
Slika 10. Kreiranje novog projekta u QGIS softveru

Da bi se izbegao gubitak podataka, QGIS nudi opciju automatskog čuvanja projekta, koja se može aktivirati kroz *Settings > Options > General*, gde se čekira opcija *Enable auto-save of project*. Takođe, preporučuje se da svi podaci povezani sa projektom budu organizovani u jednom direktorijumu, čime se izbegavaju problemi sa putanjama do datoteka.

Kreiranje i čuvanje projekata u QGIS-u je proces koji zahteva veliku pažnju, ali pri tom pruža veoma moćne alate koji služe za obradu i analizu različitih geografskih podataka. Redovnim čuvanjem i dobrom organizacijom podataka možemo osigurati da rad bude efikasan i da rezultati budu tačni i pouzdani.

5.2. Grafički korisnički interfejs QGIS-a

Početni interfejs QGIS-a je sastavljen od nekoliko ključnih elemenata, koji omogućavaju korisnicima da efikasno rade sa geografskim podacima (slika 11). Glavne komponente početnog interfejsa QGIS-a su:



Slika 11. Početni interfejs QGIS softvera i ključni elementi koji ga sačinjavaju

Meni Bar (Menu Bar): Ovaj deo se nalazi na vrhu interfejsa i sadrži osnovne menije kao što su File, Edit, View, Layer, Settings, Plugins, Vector, Raster, Database, Web, Processing i Help. Svaki meni sadrži različite opcije za upravljanje projektom, uređivanje slojeva, podešavanje interfejsa i druge funkcije.

Alatna Traka (Toolbars): Alatne trake su smeštene ispod menija i sadrže ikone za brzi pristup često korišćenim alatima i opcijama. Postoji više alatnih traka, uključujući alatne trake za upravljanje projektom, navigaciju mapom, alatke za uređivanje i druge specifične funkcije.

Panel za Slojeve (Layers Panel): Ovaj panel se obično nalazi sa leve strane i prikazuje listu svih slojeva koji su dodati u projekat. Omogućava korisnicima da uključuju/isključuju vidljivost slojeva, menjaju redosled slojeva i pristupaju opcijama za uređivanje slojeva.

Mapa (Map Canvas): Glavni deo interfejsa gde se prikazuju svi slojevi i podaci. Korisnici mogu da zumiraju, pomeraju i sprežu sa mapom u ovom prostoru. Mapa je centralno mesto za vizualizaciju geografskih podataka.

Statusna Traka (Status Bar): Smeštena na dnu interfejsa, statusna traka prikazuje informacije kao što su trenutne koordinate pokazivača miša, skala mape i status zadataka koji su u toku.

Panel Alatki (Processing Toolbox): Ovaj panel sadrži širok spektar alata za prostorne analize i geoproceniranje. Omogućava pristup alatima za

obradu vektorskih i rasterskih podataka, kao i dodatnim funkcijama koje se mogu instalirati kroz pluginove.

Browser Panel: Panel koji omogućava pretragu i pregled podataka na lokalnom disku, kao i podataka sa udaljenih izvora. Ovo olakšava dodavanje novih slojeva u projekat.

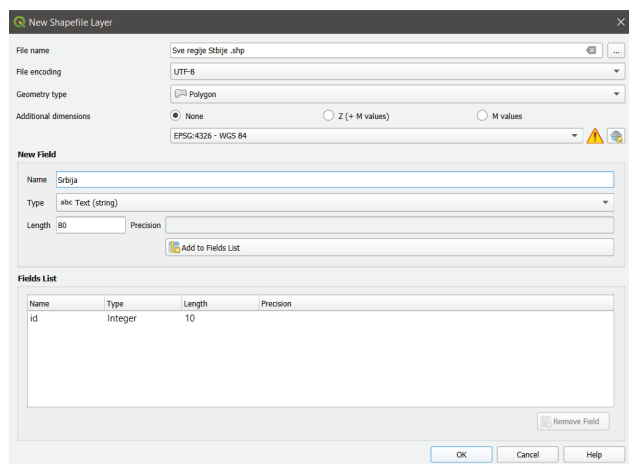
Konzola (Python Console): Ovaj panel omogućava korisnicima da pišu i izvršavaju Python skripte direktno u QGIS-u. Koristan je za automatizaciju zadataka i napredne analize.

Ovi elementi zajedno čine fleksibilan i moćan interfejs QGIS-a, omogućavajući korisnicima da efikasno rade sa svojim geografskim podacima [4].

5.3. Proces Kreiranja Sloja (lejera) i Mape u QGIS-u

Rad sa geografskim podacima u QGIS-u počinje kreiranjem novih slojeva i učitavanjem mapa iz različitih izvora. Ovi koraci su osnova za sve buduće analize i vizualizacije koje se mogu izvršiti u ovom alatu (slika 12). Evo kako se to radi, korak po korak [4].

Kada pokrenemo QGIS, kreiranje novog vektor-



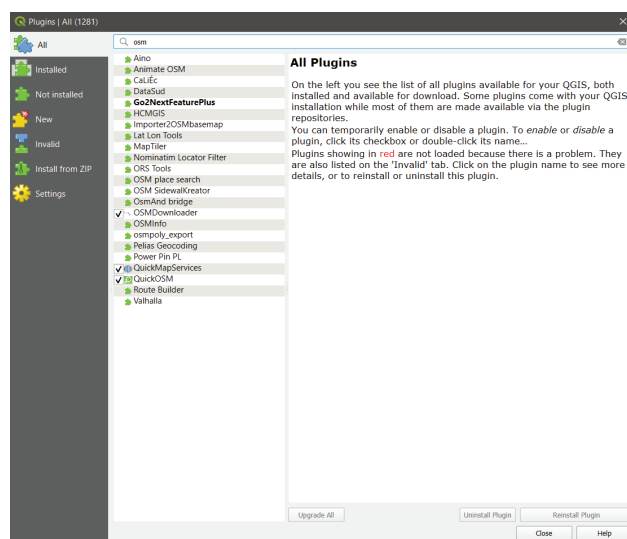
Slika 12. Kreiranje novog sloja (lejera) u QGIS softver-u

skog sloja je prvi korak, to se postiže izborom opcije *Layer > Create Layer > New Shapefile Layer...* ili *New Geopackage Layer...* iz glavnog menija. U dijalogu koji se otvori, biramo tip geometrije koju

želimo da koristimo, bilo da su to tačke, linije ili poligoni. Ovde takođe možemo dodati atribute koji će biti povezani sa ovim geometrijama, kao što su naziv, tip ili bilo koji drugi podatak koji je relevantan za naš projekat.

Nakon definisanja atributa i izbora lokacije za snimanje sloja, klikom na OK naš novi sloj će se pojaviti u Layers panelu i biti spreman za uređivanje. Da bismo dodali podatke u ovaj sloj, aktiviramo alatku za uređivanje klikom na ikonicu olovke na alatnoj traci. Korišćenjem alatki za crtanje, možemo dodati nove geometrije u sloj i uneti attribute za svaki novi element.

Instaliranje OSM plugina predstavlja sledeći korak ako ranije nije instaliran (slika 13). Ova instalacije postiže se izborom komande *Plugins > Manage and Install Plugins...* i pretraživanjem opcije *OpenStreetMap* ili *QuickMapServices*. Nakon instalacije, možemo dodati OSM mapu izborom komande *Web > QuickMapServices > OSM > OSM Standard* iz menija.



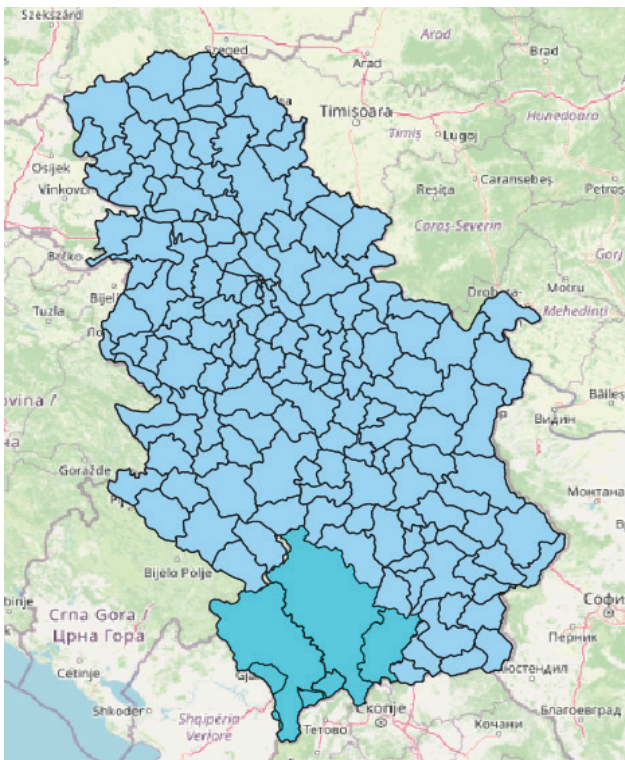
Slika 13. Instaliranje OSM plugina u QGIS softveru

Ako želimo ručno da dodamo OSM mapu, možemo koristiti WMS ili XYZ Tile. Za ovaj proces idemo na *Layer > Add Layer > Add WMS/WMTS Layer...* ili *Add XYZ Layer...* i unosimo URL: <https://tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png>, koji nazivamo "OSM". Klikom na OK, ovaj sloj se pojavljuje u Layers panelu.

Dodavanje drugih izvora mapa je takođe moguće korišćenjem istih koraka kao i za OSM, ali sa različitim URL-ovima za druge WMS/WMTS ili XYZ Tile usluge. Na primer, mnogi provajderi, kao što su Google i Bing, nude javne mape koje mogu biti dodate na ovaj način.

Učitavanje mape u QGIS kroz OpenStreetMap (OSM) pruža korisnicima mogućnost da brzo pri-stupe globalnim geografskim podacima. Ovaj proces je jednostavan i omogućava korisnicima različitih nivoa iskustva da efikasno rade sa prostornim podacima.

Mapa se ubacuje tako što nakon instalacije plagina, QGIS aplikacija otvara mogućnost za dodavanje OSM Mape preko QuickMapServices. U meni baru nalazi se opcija Web, gde izabiranjem *QuickMapServices > OSM > OSM Standard* dodajemo željene podatke. U QGIS-u će se automatski učitati OSM mapa u interaktivnom okruženju (slika 14). Kada se OSM mapa pojavi u QGIS-u, mapu je moguće prilagoditi svojim potrebama, uključujući zumiranje na određene oblasti, promenu stilova prikaza ili dodavanje dodatnih slojeva. Za istraživanje i prilagođavanje mape, mogu se koristiti alatke za navigaciju i uređivanje u QGIS-u.



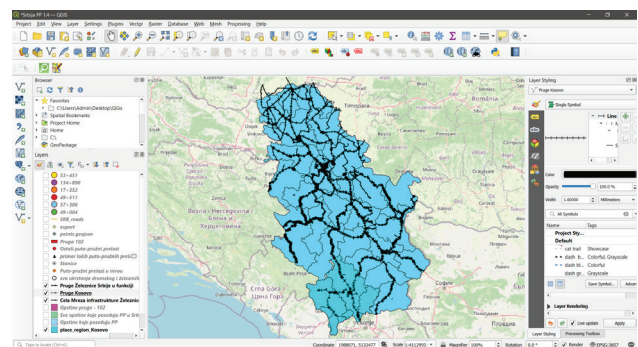
Slika 14. Prikaz mape Srbije putem OSM-a u QGIS softver-u

5.4. Proces kreiranja sloja i dodavanja pruga i putno-pružnih prelaza u QGIS-u

Prikupljanje podataka o prugama i putno-pružnim prelazima predstavljalo je ključni korak u ovom istraživanju. Koristeći podatke iz OpenStreetMap (OSM) baze, obezbeđene su geografske koordinate i atributne informacije koje omogućavaju detaljnu analizu i vizualizaciju. Ovi podaci su zatim integrisani u QGIS, što omogućava sveobuhvatno istraživanje prostornih odnosa na teritoriji Srbije. Iako je OSM veoma koristan plugin, pri dodavanju PPP pokazao se još uvek nedovoljno unapređenim i zato su korišćene druge metode dodavanja vektorskih informacija u QGIS [8].

Nakon dodavanja sloja mape Srbije, prethodno preuzete sa OSM-a, dodavanjem vektorskih slojeva za pruge i putno-pružne prelaze, započet je proces vizualizacije i analize prostornih odnosa na teritoriji Srbije u QGIS-u.

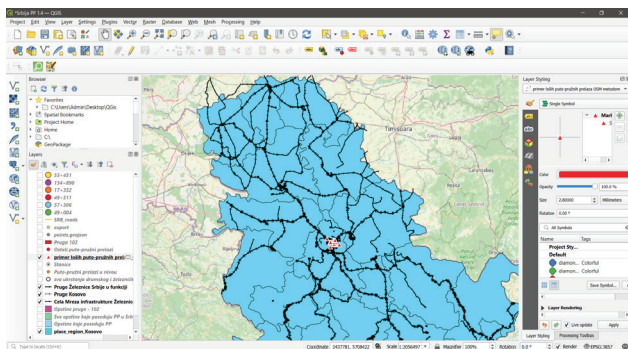
Dodavanje sloja za pruge: Dodavanje sloja za pruge počinje izborom opcije Layer iz glavnog menija QGIS-a, zatim Add Layer, i na kraju Add Vector Layer (slika 15). Nakon toga, u dijalogu za dodavanje slojeva, izabrana je opcija Browse, kojom su pretraženi lokalni fajlovi kako bi se pronašao odgovarajući vektorski fajl sa podacima o prugama. Ovi podaci su bili preuzeti u formatu Shapefile (.shp) iz OSM baze. Klikom na Add, sloj pruga je dodat na mapu i odmah postao vidljiv u Layers panelu.



Slika 15. Dodavanje pruga u QGIS softveru

Dodavanje sloja za putno-pružne prelaze: Sličan postupak primenjen je za dodavanje sloja putno-pružnih prelaza (slika 16). Pri tom pono-

vo se koristi opcija Add Vector Layer... iz menija Layer, a zatim treba de se izabere opcija Browse za pronalaženje vektorskog fajla sa odgovarajućim podacima o prelazima. Ovi podaci su takođe bili preuzeti iz OSM baze i sačuvani u formatu GeoJSON (.geojson). Klikom na Add, sloj prelaza je dodat na mapu i pojavio se u Layers panelu.



Slika 16. Dodavanje putno-pružnih prelaza OSM pluginom u QGIS softveru

Pri dodavanju putno-pružnih prelaza nailazimo na loše unesene podatke u samom OSM-u, na prikazanoj slici vidimo da su podaci o PPP uneseni samo za područje Beograda, tako da unošenje putno-pružnih prelaza obavljamo drugom metodom.

5.5. Proces unosa geografskih tačaka putem koordinata i putem koda u QGIS

Korišćenje QGIS-a za unos tačaka pomoću koordinata omogućava korisnicima da detaljno mapiraju prostorne podatke u skladu sa njihovim potrebama i zahtevima projekta. Ovaj proces je ključan u geografskom informacionom sistemu za precizno lociranje, kao i detaljnu analizu prostornih podataka.

Ovaj proces unošenja obavlja se tako što se prvenstveno pronađu i defini[u odgovarajuće koordinate tačke koju treba da se unese, u ovom slučaju to su koordinate putno-pružnog prelaza, što je moguće uraditi primenom Google Map-a. Zatim se piše kratak kod (slika 17) koji omogućava projektantu da napravi odgovarajući Query koji treba da se implementira u rad (projekat). Kod za dodavanje pointa (tačke) putem koordinate glasi:

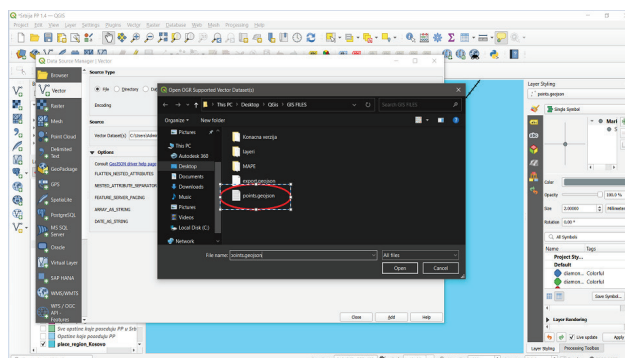
```
/*
Ovaj query daje nam point specifičnih koordinata.
*/

[out:json];
(
  node(44.279839,19.926429);
);
out body;
>;
out skel qt;

/*
Puto-Pružni prelaz u Loznici
*/
```

Slika 17. Kod Query-a za dodavanje tačke putno-pružnog prelaza korišćenjem koordinata

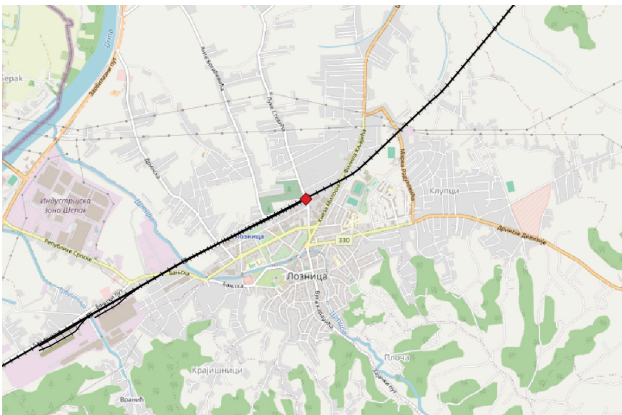
Nakon kreiranja prethodnog koda (slika 18) veoma je važno da se kod sačuva u odgovarajućem formatu, odnosno da se sačuva sa odgovarajućom ekstenzijom za naziv datoteke tipa "gojson", koja projektantu omogućava da se novonastala datoteka pozove u funkciju tako što što će projektant da doda jedan novi sloj (lejer) pritiskom na opciju Layer > Add Layer > Add Vector Layer...



Slika 18. Kreiranje fajla u kojem se nalazi Query

Izborom odgovarajuće point.gojson datoteke, QGIS će je automatski da učita sve odgovarajuće podatke o putno-pružnom prelazu.

Nakon unošenja odgovarajućeg Query-a u QGIS-u se pojavljuje novi lejer sa unesenom funkcijom koju projektant zadao. U studiji slučaja urađenoj u ovom radu prezentovan je putno-pružni prelaz u Loznici koji se nalazi u km 49+511 pruge 211 (slika 19).



Slika 19. Prikaz putno-pružnog prelaza primenom kreiranog Query-a u QGIS softveru

Ovim načinom unošenja putno-pružnih prelaza dobijamo precizne i jasno vidljive podatke o putno-pružnom prelazu na teritoriji Srbije, ali nailazimo na problem same efikasnosti primene kreiranja većeg broja putnih prelaza. Shodno tome kreiramo novi kod i novi Query koji će nam omogućiti da mapiramo sve putno-pružne prelaze u nivou na teritoriji cele Srbije (slika 20).

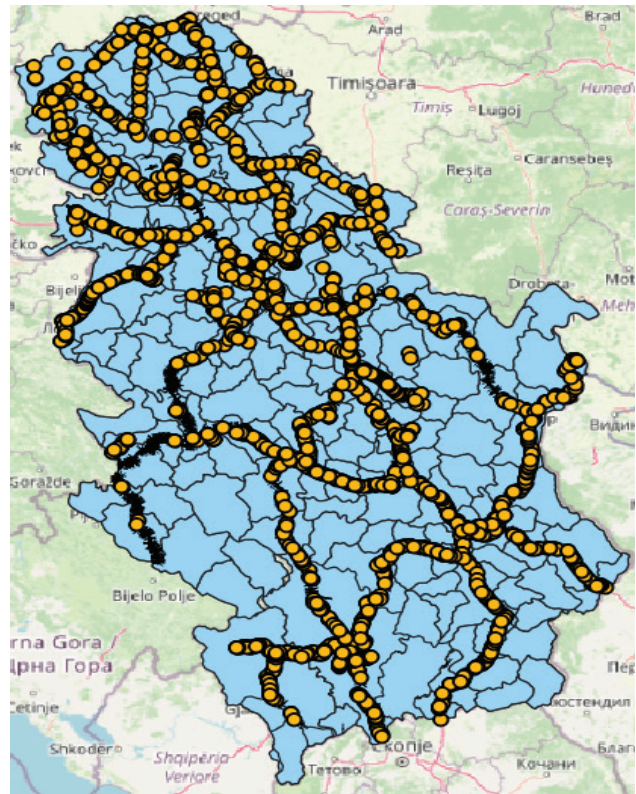
```
[out:json][timeout:300];
// Fetch area "Serbia" to search in
{{geocodeArea:Serbia}}->.searchArea;

node["traffic_sign"~"railway_crossing|crossing"](area.searchArea);
node["railway"="crossing"](area.searchArea);
node["railway"="level_crossing"](area.searchArea);
out body;
>;
out skel qt;
```

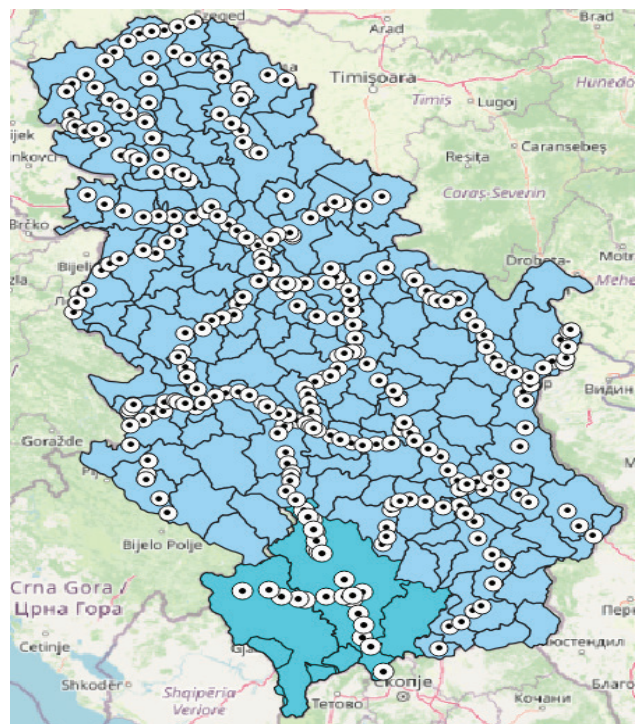
Slika 20. Kod Query-a koji prikazuje sve putno-pružne prelaze u nivou

Kreiranjem ovog Query-a i njegovom implementacijom dobijamo pozicije svih putno-pružnih prelaza u nivou na mreži pruga na teritoriji cele Srbije (slika 21).

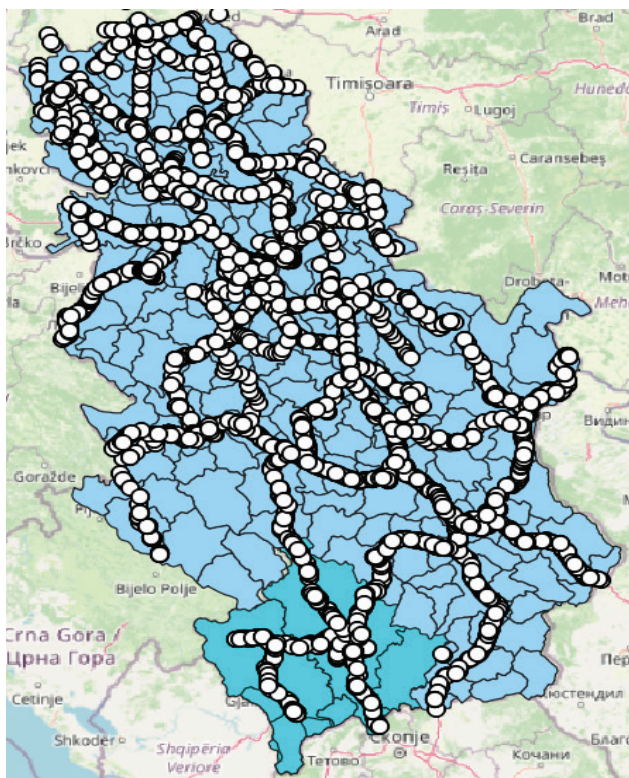
Korišćenje ove metode u QGIS-u je jedan od načina za efikasno upravljanje i manipulaciju podacima, posebno kada se radi sa velikim količinama geoprostornih informacija ili kada želimo izvršiti specifične operacije koje nisu direktno podržane standardnim alatima za obradu podataka u QGIS-u. Pored putno-pružnih prelaza moguće je dodati i ostale podatke kao što su položaji stanica, presek svih drumskih i železničkih puteva i mnoge druge (slike 22. i 23).



Slika 21. Grafički prikaz svih putno-pružnih prelaza u nivou u QGIS softveru



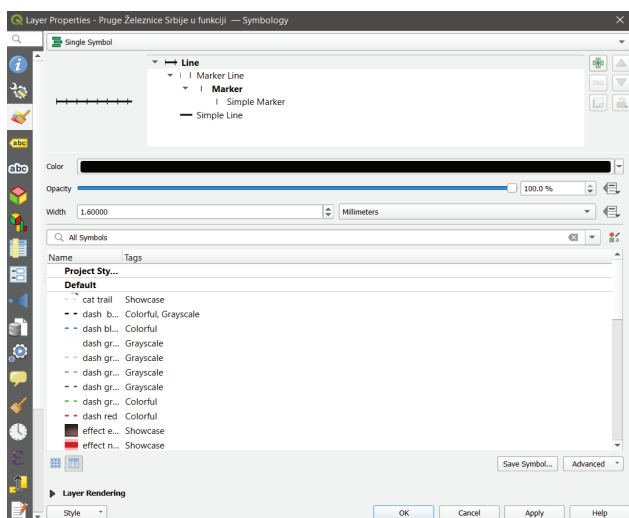
Slika 22. Grafički prikaz stanica u Srbiji u QGIS softveru



Slika 23. Grafički prikaz svih tačaka preseka drum-ske i železničke infrastrukture u QGIS softveru

5.6. Vizualizacija podataka

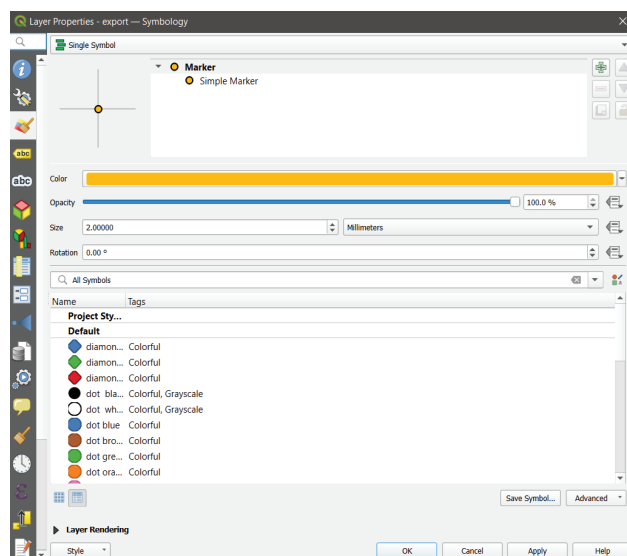
Nakon uspešnog dodavanja slojeva, pristupilo se njihovoj vizualizaciji. Prvi korak bio je prilagođavanje stilova slojeva kako bi se obezbedila jasna i pregledna prezentacija podataka (slika 24).



Slika 24. Kartica koja se koristi za uređivanje izgleda pruga QGIS softvera

Za prilagođavanje stilova sloja pruge, desnim klikom na sloj u Layers panelu izabrana bira se opcija Properties, a zatim kartica Symbology. Ovde je podešen stil pruge, uključujući boju (crna) i debljinu linije (1,6 mm), kako bi pruge bile jasno vidljive na mapi [4].

Za sloj putno-pružnih prelaza, takođe je otvorena kartica Symbology iz prozora Layer Properties. Prelazi su prikazani kao tačke sa narandžastim krugovima, što omogućava lako razlikovanje prelaza od ostalih objekata na mapi (slika 25).



Slika 25. Kartica za uređivanje izgleda putno-pružnih prelaza QGIS softvera

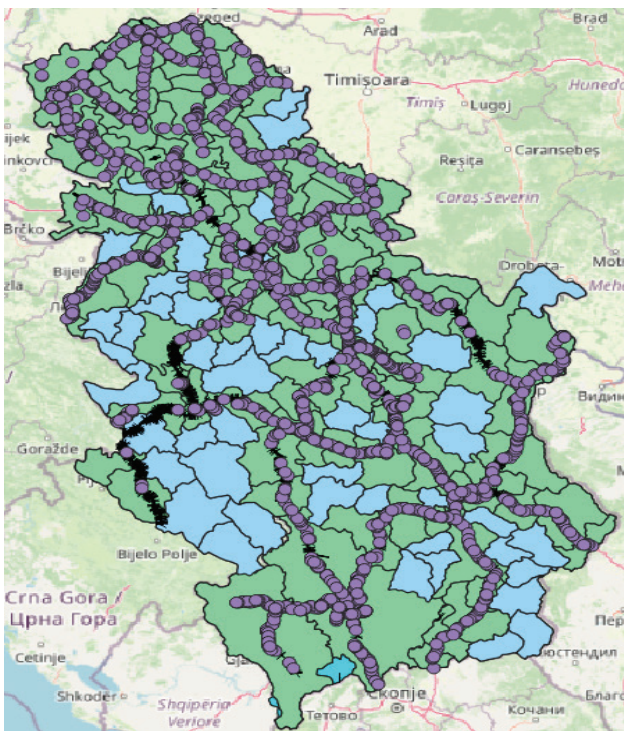
5.7. Analiza podataka

Sa dodatim i vizuelno prilagođenim slojevima, naredni korak bio je sprovođenje prostorne analize. Prva analiza fokusirala se na identifikaciju gustine putno-pružnih prelaza. Korišćenjem Heatmap alata generisana je toplotna mapa koja prikazuje koncentraciju prelaza, što je omogućilo identifikaciju područja sa najgušćom mrežom prelaza (slika 26). Na osnovu te analize dobijamo podatak na osnovu kojeg možemo prikazati sve opštine u Srbiji koje poseduju putno-pružne prelaze, kao i prugu koja poseduje najveći broj PPP (slika 27).

Rezultati primene prikaza toplotne mape prikazani su kroz boje i intenzitete na mapi i jasno su označena područja sa najvećom gustinom PPP.

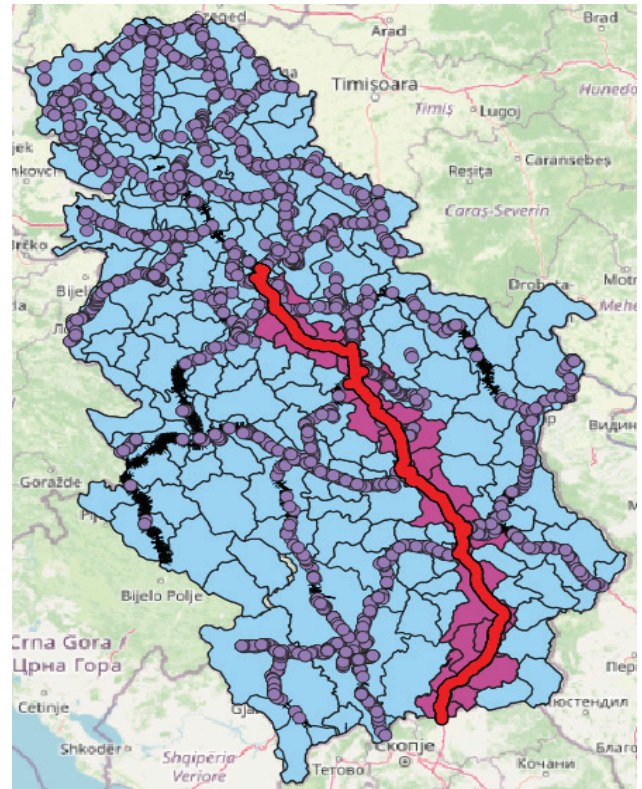


Slika 26. Grafički prikaz najveće koncentracije PPP na prugama Srbije, u QGIS softveru (pruga 102)



Slika 27. Grafički prikaz opština koje poseduju putno-pružni prelaz u QGIS softveru

Analizom toplotne mape zaključujemo da je pruga Beograd – Niš – Preševo (oznaka 102) pruga sa najvećim brojem PPP u Srbiji (slika 28). Ovaj podatak je potvrđen podacima koje je pružila vizualizacija podataka, kao i sama činjenica da smo taj podatak za prugu 102 obradili u gore navedenim excel tabelama.



Slika 28. Grafički prikaz pruge 102 i opština kroz koje prolazi pruga u QGIS softveru

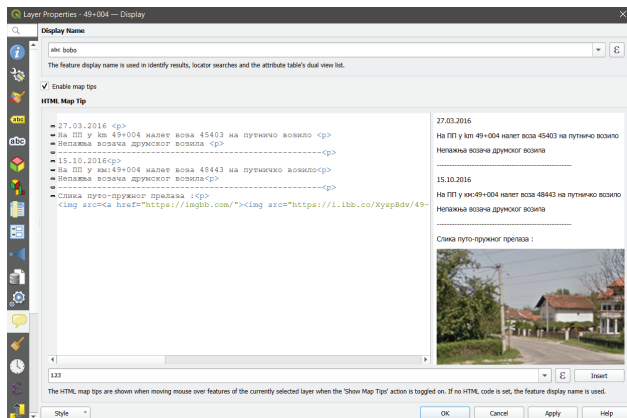
Korišćenje heatmap-e u QGIS-u se pokazalo kao efikasan metod za istraživanje i interpretaciju prostornih podataka, pružajući dublji uvid u raspodelu i zastupljenost PPP na prugama. Ovaj rad je naglasio značaj analitičkih alata i vizuelnih tehnika u razumevanju prostornih obrazaca i donošenju informisanih zaključaka na osnovu geoprostornih podataka [10].

5.8. Mogućnost prikaza podataka putem HTML map tips -a u QGIS-u

U QGIS-u, jedan od načina za interaktivno prikazivanje podataka na karti je kroz korišćenje HTML map tips-a. Ova funkcionalnost omogućava korisnicima da prilikom pomeranja miša preko tačke na karti dobiju dodatne informacije ili vizuelne sadržaje u obliku HTML formatiranih prozora [9].

Primena QGIS softvera za obradu podataka o putno-pružnim prelazima

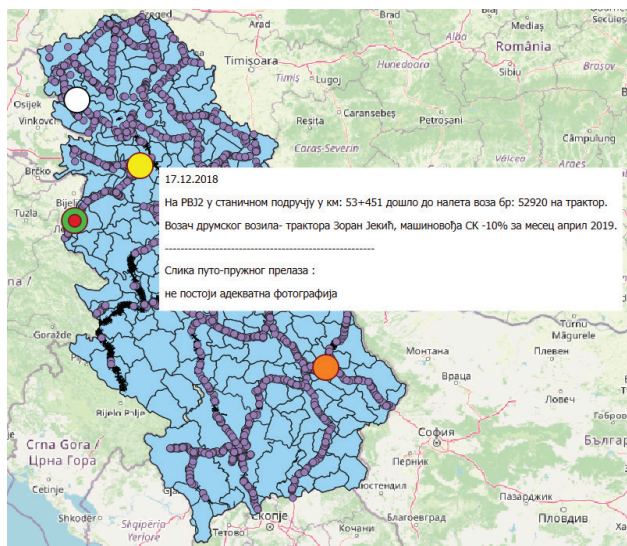
Proces unošenja podataka u HTML map tips se ostvaruje tako što kliknemo desnim klikom na odgovarajući lejer u panelu Layers (Slojevi) i izaberemo Properties (Svojstva), zatim u prozoru svojstava, pritiskom na karticu Display (Prikaz) otvaramo prozor u koji unosimo željene podatke u vidu teksta, slike itd. HTML map tips poseduje posebnu gramatiku unošenja podataka koja je prikazana na slici 29.



Slika 29. Proces unošenja podataka primenom HTML-a u QGIS softveru

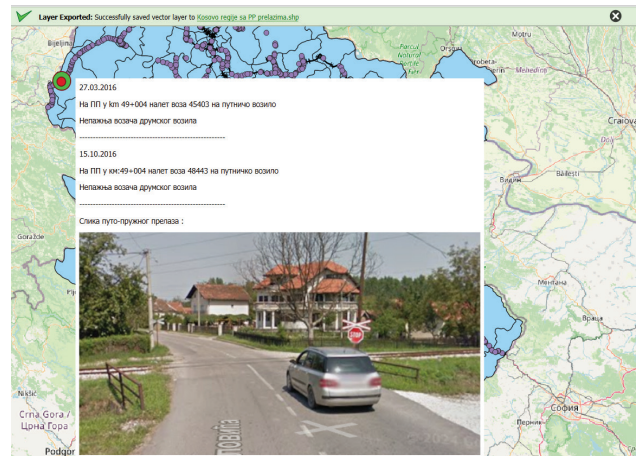
Prikazivanje preko HTML map tips-a olakšava razumevanje prostornih podataka na više načina:

1. Omogućava detaljnije informacije o karakterističnim tačkama na karti. Na primer, korisnici mogu da vide atributne informacije kao što su naziv, opis ili numeričke vrednosti, što može biti ključno za analizu ili istraživanje (slika 30).



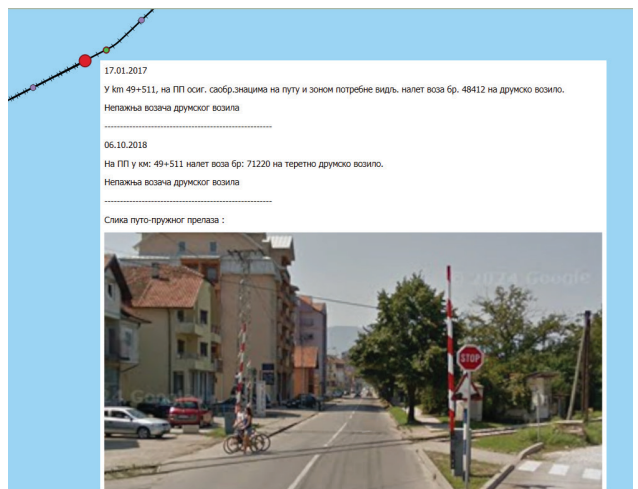
Slika 30. Vizuelni prikaz podataka o saobraćajnoj nesreći na putno-pružnom prelazu u km 53+451 pruge 101

2. HTML map tips može da uključi i grafičke elemente kao što su slike, dijagrami ili čak interaktivni grafici, čime se dodatno poboljšava vizualizacija podataka (slika 31).



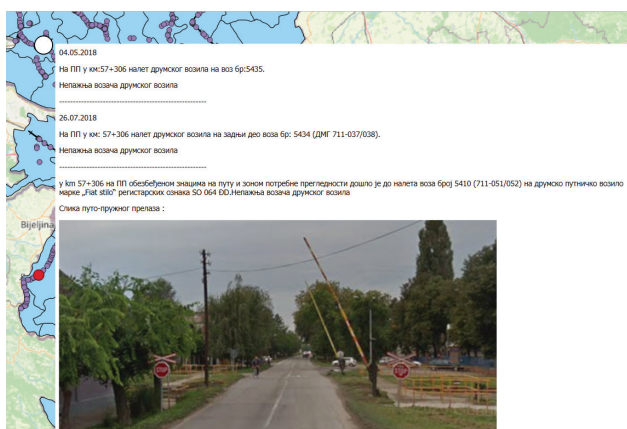
Slika 31. Vizuelni prikaz podataka o vanrednim događajima na putno-pružnom prelazu u km 49+004 pruge 211

3. Ova funkcionalnost je posebno korisna za prezentacije ili deljenje prostornih podataka sa drugima jer omogućava intuitivan pristup detaljnim informacijama bez potrebe za ulaskom u kompleksne tabele ili grafikone (slika 32).

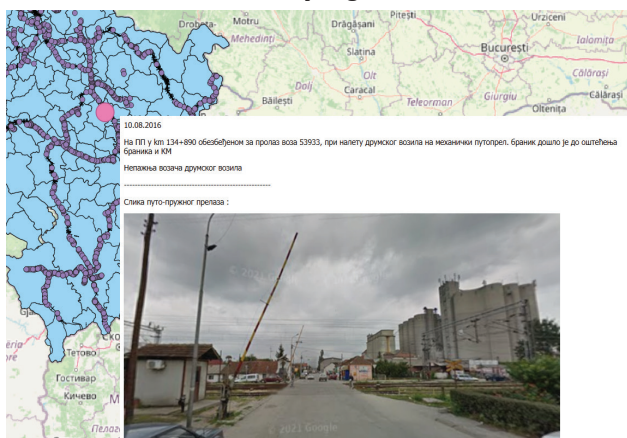


Slika 32. Vizuelni prikaz podataka o saobraćajnim nesrećama na putno-pružnom prelazu u km 49+511 pruge 211

QGIS pruža mogućnost prilagođavanja HTML map tips-a putem HTML i CSS kodiranja, što korisnicima omogućava da prilagode izgled i sadržaj prema svojim potrebama ili korporativnom identitetu (slike 33, 34. i 35).



Slika 33. Vizuelni prikaz podataka o saobraćajnim nesrećama na putno-pružnom prelazu u km 57+306 pruge 207



Slika 34. Vizuelni prikaz podataka o saobraćajnim nesrećama na putno-pružnom prelazu u km 134+890 pruge 102



Slika 35. Vizuelni prikaz podataka o saobraćajnim nesrećama na putno-pružnom prelazu u km 17+352 pruge 106

6. ZAKLJUČAK

Geografskim informacionim sistemom QGIS predstavljen je značaj primene softvera u analizi putno-pružnih prelaza u Srbiji. Kroz detaljnu obradu i vizualizaciju podataka, identifikovane su ključne tačke interakcije između železničkog i drumskog saobraćaja, kao i oblasti sa najvećim rizikom od nesreća. Implementacija QGIS-a omogućila je ne samo efikasno mapiranje i analizu postojećih putno-pružnih prelaza, već i identifikaciju i potencijalne predloge mera za unapređenje sigurnosti na ovim kritičnim tačkama.

Jedan od zaključaka ovog istraživanja je da su najčešći uzroci nesreća na putno-pružnim prelazima nepoštovanje saobraćajnih propisa od strane vozača i nepovoljni tehnički uslovi infrastrukture. QGIS je omogućio da se ovi problemi vizualizuju i analiziraju na sistematičan način, što je olakšalo identifikaciju kritičnih tačaka i planiranje potrebnih intervencija.

Dalji razvoj i unapređenje QGIS softvera mogli bi dodatno da povećaju njegovu upotrebljivost, efikasnost i pouzdanostu ovakvim analizama. Integracija sa drugim bazama podataka i alatima za analizu saobraćajnih nesreća može pružiti još bolje i detaljnijih uvida u stanje bezbednosti saobraćaja i da na taj način pomognu u formiranju sveobuhvatnijih strategija za unapređenje sigurnosti i bezbednosti na putno-pružnim prelazima. Takođe, razvoj dodatnih funkcionalnih alata za simulaciju i predikciju saobraćajnih tokova može značajno da doprinese prevenciji nesreća i planiranju razvoja i unapređenja saobraćajne infrastrukture.

Važnost korišćenja naprednih GIS alata u analizi saobraćajne infrastrukture, a naročito pruga predstavlja značajan faktor u istraživanju, planiranju i projektovanju na železnici [11]. Samim razvojem novih tehnologija, kao i njihovom praktičnom primenom dolazi do potencijalnih unapređenja i iznalaženja novih načina za povećanje bezbednosti i značajno smanjenje rizika od nesreća na putno-pružnim prelazima. QGIS se pokazao kao veoma moćan alat koji predstavlja podršku donosiocima odluka u funkciji poboljšanja efikasnosti i bezbednosti saobraćaja. na taj način direktnose poboljšava ukupna saobraćajna infrastruktura,

a istovremeno smanjuju rizici od dešavanja saobraćajnih nesreća na putno-pružnim prelazima, ali isto tako i ukupno.

LITERATURA

- [1] 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,
- [2] Pravilnik o prijavljivanju, istraživanju, evidentiranju, statističkom praćenju i objavljivanju podataka o nesrećama i nezgodama,
- [3] Republički zavod za statistiku Srbije (2019), Saobraćajna statistika,
- [4] QGIS Development Team (2021). QGIS User Guide. Preuzeto sa QGIS Documentation,
- [5] Marina M. Jovanović (2020). Mogućnost primene geografskih informacionih sistema u oblasti železničke infrastrukture sa osvrtnom na osnove QGIS softvera,
- [6] Železnice Srbije (2017), Statistika nesreća na putno-pružnim prelazima,
- [7] Kovačević, D. (2019). Primena GIS tehnologija u saobraćaju. Beograd: Saobraćajni fakultet,
- [8] OpenStreetMap Contributors (2020). OpenStreetMap Data. Preuzeto sa OpenStreetMap,
- [9] QGIS Development Team (2021). QGIS Training Manual. Preuzeto sa QGIS Documentation,
- [10] Pavlović, P., Jovanović, B. (2018). Primena QGIS-a u analizi saobraćajnih podataka. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka,
- [11] Esri (2020). GIS for Transportation. Preuzeto sa Esri.

CIP - Каталогизacija u publikaciji
 Narodna biblioteka Srbije, Beograd

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: Saobraćaj (Beograd, 1945) = ISSN 2560-3566.
 - Drugo izdanje na drugom medijumu : Železnice (Online) = ISSN 2956-140X
 ISSN 0350-5138 = Железнице
 COBISS.SR-ID 959492