

## IZAZOVI, OGRANIČENJA I PERSPEKTIVE U RAZVOJU SOFTVERSKIH REŠENJA ZA ŽELEZNIČKI SAOBRAĆAJ

### CHALLENGES, CONSTRAINTS, AND FUTURE PERSPECTIVES IN THE DEVELOPMENT OF SOFTWARE SOLUTIONS FOR RAILWAY TRANSPORT

Datum prijema rada: 21.5.2025. god.

Datum prihvatanja rada: 7.8.2025. god.

UDK: 656.2+004:656.2+654.9

#### REZIME:

Ovaj rad analizira ključne izazove, ograničenja i perspektive razvoja softverskih rešenja u železničkom saobraćaju. U radu su uz osnovne analize ukratko pomenuti i izazovi poput tehničke složenosti sistema, visokih početnih troškova, potrebe za održavanjem i organizacionih prepreka, bez detaljnog razmatranja, budući da nisu bili u fokusu istraživanja. Pored identifikacije problema, rad ukazuje na savremene trendove u oblasti digitalizacije železnica, uključujući primenu veštačke inteligencije, mašinskog učenja, Internet stvari, autonomnih vozova i analize velikih podataka. Prikazani su i konkretni softverski alati koji se koriste za planiranje reda vožnje, upravljanje resursima, projektovanje infrastrukture i unapređenje bezbednosti. Zaključuje se da uspešna implementacija zahteva strateški pristup, međusektorsku saradnju i kontinuirana ulaganja u digitalne tehnologije kako bi železnički sektor postao efikasniji, sigurniji i održiviji. **Ključne reči:** železnički saobraćaj, softverska rešenja, digitalizacija, veštačka inteligencija, Internet stvari, analiza podataka, bezbednost

#### SUMMARY:

This paper analyzes the key challenges, limitations, and development prospects of software solutions in the railway transport sector. In addition to the core analyses, the paper briefly mentions challenges such as the technical complexity of the system, high initial costs, maintenance requirements, and organizational obstacles, without providing an in-depth discussion, as these were not the primary focus of the research. In addition to identifying critical issues, the paper highlights modern trends in railway digitalization, including the application of artificial intelligence, machine learning, the Internet of Things, autonomous trains, and big data analytics. It also presents specific software tools used for timetable planning, resource management, infrastructure design, and safety enhancement. The conclusion emphasizes that successful implementation requires a strategic approach, cross-sector cooperation, and continuous investment in digital technologies to make the railway sector more efficient, safer, and sustainable.

**Keywords:** railway transport, software solutions, digitalization, artificial intelligence, Internet of Things, data analysis, safety

\* Željko Kokeza, Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Beograd, Vojvode Stepe 305, kokezazeljko@gmail.com

## 1. UVOD

Digitalizacija i napredna softverska rešenja igraju ključnu ulogu u modernizaciji železničkog saobraćaja. Uvođenje savremenih tehnologija omogućava optimizaciju reda vožnje, efikasnije upravljanje resursima, povećanje sigurnosti i smanjenje operativnih troškova. Softverski alati, zasnovani na algoritmima optimizacije, veštačkoj inteligenciji (Artificial Intelligence – AI), mašinskom učenju (Machine Learning – ML), analizi velikih skupova podataka (Big Data – BD) i Internetu stvari (Internet of Things – IoT), pružaju mogućnost unapređenja celokupnog železničkog sistema – od planiranja i operacija do održavanja i praćenja u realnom vremenu.

Iako potencijal softverskih rešenja u železničkom saobraćaju donosi značajne prednosti, njihova primena se suočava s brojnim izazovima i ograničenjima. Kompleksnost železničke infrastrukture, potreba za interoperabilnošću između različitih sistema i regulatorni zahtevi često otežavaju uvođenje novih tehnologija. Pored tehničkih prepreka, značajan izazov predstavljaju i ekonomski faktori, poput visokih početnih troškova i dugoročnih investicija u održavanje i ažuriranje sistema. Takođe, organizacione promene i otpor zaposlenih prema novim tehnologijama mogu dodatno usporiti proces digitalizacije.

Razvoj softverskih rešenja za železnički saobraćaj pokreće i trendove ka digitalizaciji i automatizaciji, što otvara vrata za integraciju tehnologija kao što su AI, ML i IoT, 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 važniju ulogu u evoluciji železničkog saobraćaja, omogućavajući veću fleksibilnost i odgovor na izazove koje donosi ubrzan tehnološki razvoj i napredak.

Uprkos ovim izazovima, budućnost železničkog saobraćaja se oslanja na tehnološke inovacije. Trendovi poput primene AI i IoT, razvoja autonomnih vozova i implementacije zelenih tehnologija ukazuju na pravac u kojem će se razvijati softver-

ska rešenja za železnički sektor. Ovaj rad analizira ključne izazove i ograničenja u implementaciji softverskih rešenja, kao i perspektive i mogućnosti koje nove tehnologije donose u železnički sistem. [2]

## 2. IZAZOVI I OGRANIČENJA U PRIMENI SOFTVERSKIH REŠENJA

Iako softverska rešenja imaju brojne prednosti u izradi reda vožnje i optimizaciji železničkog saobraćaja, njihova primena nije bez izazova. S obzirom na kompleksnost železničkog saobraćaja i potrebe za preciznošću, postoje brojni tehnički, organizacioni i ekonomski faktori koji mogu ograničiti 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.

### 2.1. Tehnička složenost i interoperabilnost

Jedan od najvećih izazova u primeni softverskih rešenja za železnički saobraćaj je tehnička složenost sistema. Železničke mreže često obuhvataju velike teritorije, sa različitim vrstama infrastrukture i različitim tehnologijama koje se koriste za upravljanje saobraćajem. To znači da je potrebno obezbediti visoku interoperabilnost između različitih sistema i platformi.

**Kompatibilnost sa postojećim sistemima:** U mnogim zemljama, železničke mreže koriste stare sisteme koji nisu u potpunosti kompatibilni sa novim softverskim rešenjima. To može otežati integraciju novih tehnologija u postojeću infrastrukturu, što može usporiti implementaciju ili povećati 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, komunikacioni 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, stanju pruga, vremenskim uslovima, kapacitetima i resursima. Upravljanje i obrada tih podataka zahteva napredne tehnologije i visok nivo preciznosti.

## 2.2. Visoki početni troškovi implementacije

Implementacija naprednih softverskih sistema u železnički saobraćaj često zahteva visoke početne troškove. Ovo uključuje:

- **Kupovina i licenciranje softverskih paketa:** Cena licenciranja naprednih softverskih alata, kao što su sistemi za simulaciju saobraćaja vozova i optimizaciju reda vožnje, može biti 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.

## 2.3. Potreba za kontinuiranim održavanjem i ažuriranjima

Softverski sistemi koji se koriste u železničkom saobraćaju, kao i svi složeni tehnološki alati, zahtevaju kontinuirano održavanje i redovna ažuriranja kako bi ostali funkcionalni i sigurni.

**Održavanje sistema:** Softverski alati moraju da budu redovno održavani 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 funkcionisanja saobraćaja.

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

## 2.4. Otpor prema promenama i organizacijska kultura

Iako tehnološka rešenja mogu da donese velike koristi, otpor prema promenama je čest izazov u organizacijama koje se bave železničkim saobraćajem. Ovo može biti uzrokovano različitim faktorima:

- **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:** 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 uključuje nove uloge i odgovornosti, kao i promenjeni način rada koji može da dovede do nesuglasica u radnom kolektivu.
- **Potrebna obuka i podrška:** Jedan od značajnih faktora otpora prema promenama jeste nedostatak adekvatne obuke i podrške. Uvođenje nove tehnologije, poput IoT sistema, zahteva ne samo tehničku implementaciju, već i sistemsku edukaciju korisnika. Bez toga, dolazi do neefikasnog korišćenja, što dodatno pojačava otpor i smanjuje potencijalne koristi od inovacije.

## 2.5. Upravljanje velikim količinama podataka i privatnost

Softverska rešenja u železničkom saobraćaju često moraju upravljati velikim količinama podataka u realnom vremenu, uključujući podatke o vozovima, putnicima, infrastrukturi, vremenskim uslovima i mnogim drugim faktorima.

**Zahtevi za redovno ažuriranje i obradu podataka:** U velikim mrežama, količina podataka koji

Izazovi, ograničenja i perspektive u razvoju softverskih rešenja za železnički saobraćaj

se prikupljaju i obrađuju može da bude ogromna. 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, infastruktura kao i drugih osetljivih informacija koje se koriste za planiranje saobraćaja.

## 2.6. Pravni i regulatorni okviri

Zakonodavne i regulatorne prepreke mogu takođe da predstavljaju izazov u primeni novih softverskih rešenja u železničkom saobraćaju. Različite zemlje i regioni imaju različite zakone i propise u vezi sa transportom, bezbednošću i zaštitom podataka. Prilagođavanje softverskih rešenja tim zakonodavnim okvirima može da bude složeno i skupo.

U kontekstu međunarodnog železničkog saobraćaja, dodatni izazov predstavlja potreba za harmonizacijom softverskih funkcionalnosti sa različitim nacionalnim propisima i tehničkim standardima. Na primer, softveri koji upravljaju signalizacijom, komunikacijom ili bezbedonosnim protokolima moraju da budu kompatibilni sa zakonodavstvom svake zemlje kroz koju voz prolazi, što može da zahteva dodatne module, sertifikacije ili prilagođene verzije sistema.

Ovakvi zahtevi ne samo da produžavaju vreme implementacije, već i povećavaju troškove razvoja i održavanja softverskih rešenja. Stoga, uspešna primena zahteva proaktivnu saradnju između softverskih kompanija, regulatornih tela i železničkih operatera, kako bi se obezbedila pravna usklađenost bez kompromisa po pitanju funkcionalnosti i bezbednosti sistema.

## 3. TRENDOVI U RAZVOJU SOFTVERSKIH REŠENJA ZA ŽELEZNIČKI SAOBRAĆAJ

S obzirom na brz napredak tehnologije, budućnost

softverskih rešenja za železnički saobraćaj donosi brojne inovacije i mogućnosti za dalji razvoj i poboljšanje efikasnosti, sigurnosti i održivosti železnice. U ovom delu biće razmotreni ključni trendovi koji će da oblikuju budućnost ovih tehnologija.

### 3.1. Primena AI i ML

Jedan od najuzbudljivijih trendova u razvoju softverskih rešenja za železnički saobraćaj je primena AI i ML za optimizaciju rada železničkih sistema. AI i ML omogućavaju da softverska rešenja ne samo reše trenutne probleme, već i da unaprede predviđanje, učenje i adaptaciju sistema.

**Prediktivno održavanje:** Korišćenjem ML, softverski sistemi mogu da analiziraju podatke u realnom vremenu sa senzora i drugih izvora da predviđaju kada će vozna sredstva ili infrastrukturni objekat verovatno da ima kvar. Ovo omogućava pravovremenu reakciju i održavanje, čime se smanjuju zastoji i povećava sigurnost.

**Optimizacija sistema:** AI može da pomogne u razvoju dinamičnih sistema koji ne samo da planiraju rad sistema, već i prilagođavaju u realnom vremenu na osnovu podataka o realizovanom saobraćaju, kašnjenjima, vremenskim uslovima i drugim faktorima. Na primer, kada se dogodi kašnjenje, AI može da preporuči optimalne izmene kako bi se smanjila dalja zagušenja i maksimizirala efikasnost.

**Optimizacija ljudskih resursa:** AI može da analizira i optimizuje upotrebu ljudskih resursa, kao što su mašinovođe i osoblje na stanicama. Na osnovu podataka o potražnji, kapacitetima i resursima, AI može da predloži najbolji raspored radne snage.

### 3.2. Upotreba IoT za praćenje i prikupljanje podataka u realnom vremenu

IoT je tehnologija koja omogućava povezivanje različitih uređaja i sistema putem interneta. U železničkom saobraćaju, IoT može da utiče na način prikupljanja i analize podataka omogućavajući bolje praćenje i optimizaciju saobraćaja.

**Praćenje vozova i infrastrukture:** Korišćenjem IoT senzora ugrađenih u vozove i železničku infrastrukturu (pruge, signalizacija, stanice), mogu da se prikupljaju podaci u realnom vremenu o stanju vozova, brzini, temperaturi, vibracijama i drugim parametrima. Ovi podaci mogu pomoći u predviđanju kvarova, smanjenju rizika od nesreća i optimizaciji vožnje.

**Pametne stanice i pruge:** IoT tehnologija može da bude primenjena na stanicama i prugama kako bi se poboljšalo upravljanje saobraćajem. Na primer, senzori mogu da prate opterećenje perona, da obaveste putnike o dolasku vozova u realnom vremenu ili čak da detektuju nesreće i obaveste automatski nadležne organe.

**Povezivanje vozova i infrastrukture:** Integracija vozova i infrastrukture pomoću IoT-a omogućava bolju komunikaciju između vozova i sistema za upravljanje saobraćajem, čime se povećava efikasnost i sigurnost saobraćaja. [3]

### 3.3. Razvoj autonomnih vozova

Autonomni vozovi, ili vozovi koji funkcionišu bez ljudske intervencije, predstavljaju još jedan važan trend u budućnosti železničkog saobraćaja. Iako su u fazi razvoja i testiranja, očekuje se da će autonomni vozovi u budućnosti značajno da unaprede efikasnost i bezbednost železničkog saobraćaja.

**Samostalno upravljanje vozovima:** Uz napredne sisteme za upravljanje saobraćajem i senzore, autonomni vozovi mogu da budu programirani da prepoznaju prepreke, optimizuju brzinu, usklađuju se sa promenama u saobraćaju i odgovaraju na vanredne situacije. Softverski sistemi će da omogućće koordinaciju između autonomnih vozova i infrastrukture, minimizirajući ljudsku intervenciju u funkcionisanju saobraćaja.

**Povećanje bezbednosti:** Autonomni vozovi smanjuju mogućnost ljudskih grešaka, koje su često uzrok nesreća, dok precizni senzori omogućavaju prepoznavanje opasnosti u stvarnom vremenu i brzu reakciju.

**Optimizacija voznog parka:** Uz autonomne vo-

zove, moguće je da se uveća kapacitet železničkog saobraćaja bez potrebe za povećanjem broja radnika. Takođe, autonomni vozovi mogu efikasnije da koriste infrastrukturu, smanjujući troškove za železničke kompanije.

Dobar primer primene autonomne tehnologije u praksi jeste Yibin Smart Rail T2 linija u Kini, koja koristi naprednu tehnologiju virtuelnog praćenja trasa, omogućavajući stabilnu vožnju na virtuelnim šinama uz autonomno navođenje i inteligentnu kontrolu. Kombinujući prednosti modernih tramvaja i drumskog javnog prevoza, ova linija predstavlja integrisano rešenje koje unapređuje bezbednost, korisničko iskustvo i energetska efikasnost. Ovaj sistem pokazuje kako autonomni vozovi mogu da igraju ključnu ulogu u optimizaciji urbanog saobraćaja, unapređenju održivosti i poboljšanju povezanosti u gradskim sredinama. [4]

Na sledećoj slici (Slika 1.) prikazan je voz Yibin T2 linije koji ilustruje jednu od najnovijih implementacija autonomnog železničkog saobraćaja u realnim uslovima.



Slika 1. Prvi autonomni voz u Kini [4]

### 3.4. Korišćenje BD i analize podataka za donošenje odluka

BD se odnosi na velike količine podataka koje organizacije mogu da analiziraju kako bi izvodile korisne zaključke i donosile bolje odluke. U železničkom saobraćaju, analiza velikih podataka može drastično da unapredi rad sistema za upravljanje saobraćajem.

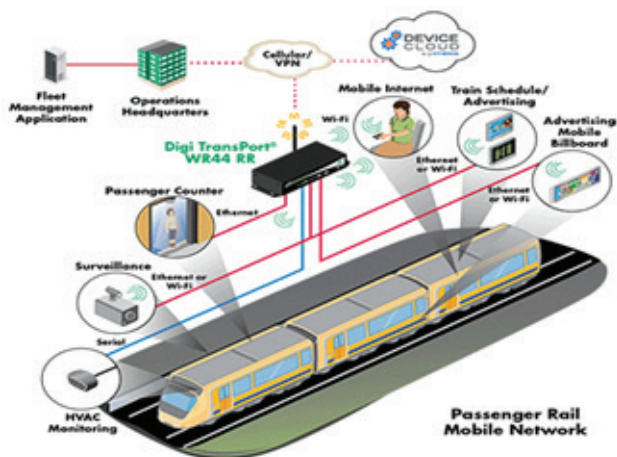
Izazovi, ograničenja i perspektive u razvoju softverskih rešenja za železnički saobraćaj

**Optimizacija saobraćaja:** Korišćenjem podataka o putnicima, brzini kretanja voza, vremenskim uslovima, kapacitetima pruga i drugim faktorima, moguće je analizirati sve aspekte saobraćaja i pronaći načine za njegovo poboljšanje. Na primer, softverska rešenja mogu da koriste podatke, da prepoznaju obrasce u kašnjenju vozova i predlože strategije za smanjenje kašnjenja.

**Prilagođavanje kapaciteta:** BD omogućava analizu putničkog saobraćaja na različitim linijama, što može da pomogne u preciznom predviđanju kada i gde će biti potrebne dodatne kompozicije ili resursi. Ovo omogućava železničkim kompanijama da se efikasno prilagode potrebama putnika i smanje opterećenje na mreži.

**Personalizacija usluga:** Korišćenje podataka o navikama putnika može da omogući personalizovane usluge, kao što su obaveštenja o dolasku vozova u stvarnom vremenu ili preporuke za najbrže rute. Ovo može da poboljša korisničko iskustvo i smanji stres putnika. [5]

Na slici 2. ilustrovan je sistem kako se ovi koncepti primenjuju u praksi kroz integrisanu mobilnu mrežu u putničkom železničkom saobraćaju.



Slika 2. Vizuelni prikaz količine podataka kojim jedan voz upravlja [6]

### 3.5 Održivi razvoj i zelene tehnologije

Održivi razvoj i smanjenje uticaja na životnu sredinu postaju ključne komponente za budućnost

železničkog saobraćaja. Softverska rešenja igraju važnu ulogu u implementaciji zelenih tehnologija i povećanju energetske efikasnosti.

**Optimizacija potrošnje energije:** Softverski alati mogu da analiziraju rad vozova i optimizuju njihovu potrošnju energije. Na primer, koristeći prediktivne algoritme, moguće je optimizovati brzinu vozova kako bi se smanjila potrošnja energije ili omogućila veća efikasnost pri kočenju.

**Zeleni vozovi i infrastruktura:** Implementacija energetske efikasne i ekološki prihvatljivih vozova, kao što su vozovi na električni ili vodonični pogon, može da bude podržana softverskim rešenjima koja optimizuju njihovu operaciju i integraciju u postojeći sistem.

**Smanjenje emisija CO2:** Korišćenjem naprednih softverskih rešenja za optimizaciju saobraćaja, železničke kompanije mogu da smanje broj praznih vozova, optimizuju rute i smanje čekanja, čime se smanjuje ukupna emisija CO2 i doprinosi očuvanju životne sredine.

Budućnost softverskih rešenja u železničkom saobraćaju obećava značajne inovacije koje će unaprediti efikasnost, sigurnost i održivost železničkih sistema. Primena AI, IoT, autonomnih vozova, analize podataka i zelene tehnologije omogućavajući bolju uslugu putnicima, smanjenje troškova i doprinos zaštitu životne sredine. Pored tehničkih inovacija, očekuje se i da će nova rešenja otvoriti vrata za napredne usluge, poput personalizacije putničkog saobraćaja i optimizacije energetske resursa.

## 4. SOFTVERSKA REŠENJA KOJA SE KORISTE U ŽELEZNIČKOM SAOBRAĆAJU

Digitalizacija i razvoj savremenih softverskih alata značajno su unapredili planiranje, upravljanje i optimizaciju procesa u železničkom saobraćaju. Softverska rešenja omogućavaju precizno modeliranje železničke infrastrukture, efikasno konstruisanje reda vožnje, kao i analizu saobraćajnih tokova u realnim i simuliranim uslovima. Njihova primena doprinosi povećanju efikasnosti železničkog siste-

ma, smanjenju troškova i poboljšanju kvaliteta železničke usluge.

#### 4.1. Softverska rešenja za izradu reda vožnje

U okviru planiranja železničkog saobraćaja, izrada reda vožnje predstavlja jedan od najvažnijih i najsloženijih procesa. Za potrebe preciznog planiranja i simulacije, koriste se različiti softverski alati, među kojima se izdvajaju TPS i OpenTrack.

Ovi sistemi koriste različite algoritme za planiranje i raspored vožnje na osnovu predviđenih faktora, kao što su opterećenje pruga, kapaciteti stanica, broj vozova, kao i specifični zahtevi prevoznika ili putnika. Takođe, ovi sistemi omogućavaju simulaciju različitih scenarija kako bi se identifikovali najefikasniji redovi vožnje.

**Kriterijumi optimizacije:** Softveri za izradu reda vožnje omogućavaju optimizaciju na više nivoa. Na primer, optimizacija može da bude zasnovana na smanjenju ukupnog vremena putovanja, povećanju kapaciteta u određenim periodima dana ili smanjenju kašnjenja. Korišćenjem ovih sistema, železničke uprave mogu da izgrade red vožnje koji omogućava bolju upotrebu postojećih resursa i smanjuje zastoje.

**Simulacije i predviđanja:** Ovi softveri često uključuju simulacije koje omogućavaju testiranje različitih scenarija, kao što su povećanje broja vozova, promene u prioritetima stanica, ili prilagođavanje rasporeda na osnovu vremenskih neprilika ili nesreća na prugama. Ove simulacije omogućavaju planiranje u realnim uslovima i smanjuju rizik od problema tokom implementacije stvarnog reda vožnje.

**Primer:** Jedan od popularnih softverskih sistema za izradu reda vožnje je OpenTrack, koji se koristi u mnogim železničkim mrežama širom sveta. Ovaj softver omogućava simulaciju redova vožnje u uslovima velikih mreža i pomaže u optimizaciji kapaciteta pruga, što omogućava železničkim kompanijama da maksimalno koriste svoje resurse.

Pored OpenTrack-a ima mnogo softvera koji omogućavaju slične ili čak bolje funkcije od OpenTrack-a, jedan od pomentih softvera je i TPS koji je razvijen od strane kompanije Hackon. Softverska rešenja TPS nude operaterima infrastrukturu i železničkim transportnim kompanijama širok spektar fleksibilnih aplikacija koje pomažu u optimizaciji operativnih procesa bilo da se radi o organizaciji saobraćaja na pruzi ili izradi tehnologije rada stanica. Treba naglasiti da je izrada tehnologije rada kompleksnih stanice 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. [7]

#### 4.2. Softverska rešenja za planiranje i upravljanje ljudskim resursima

U železničkom saobraćaju, pored vozova i infrastrukture, izuzetno je važno i planiranje i upravljanje ljudskim resursima. Softverski sistemi za upravljanje radnom snagom pomažu u optimizaciji rasporeda rada zaposlenih, kao i u praćenju radnog vremena i raspoloživosti radnih timova.

**Rasporedi zaposlenih:** Ovi sistemi omogućavaju železničkim kompanijama da efikasno planiraju radne smene mašinovođa, radnika na stanicama, operatera i drugih zaposlenih. Time se osigurava da su sve potrebne službe na raspolaganju u pravom trenutku, bez preopterećenja ili manjih timova koji mogu da uzrokuju kašnjenja u radu.

**Usklađivanje sa normama i zakonima:** Softveri za upravljanje ljudskim resursima takođe omogućavaju da se obezbedi usklađenost sa zakonima o radnom vremenu, što je ključno za sigurnost i usklađenost sa regulativama.

**Kao primeri primene softvera u planiranju i upravljanju ljudskim resursima mogu se navesti:** IVU.rail – IVU Traffic Technologies AG/IVU.rail je napredni softverski sistem koji omogućava efikasno planiranje i upravljanje ljudskim resur-

sima u železničkom saobraćaju. Ovaj sistem automatizuje kreiranje smena za mašinovođe i osoblje, uzimajući u obzir specifične zahteve vezane za radna vremena, ograničenja i regulative. IVU.rail takođe nudi mogućnosti za praćenje resursa u realnom vremenu, optimizaciju troškova rada, kao i integraciju sa sistemima za obračun zarada, čime doprinosi povećanju efikasnosti poslovanja i usklađenosti sa zakonodavstvom. [8]

Sistem za upravljanje posadom (Crew Management System – CMS) CMS predstavlja specijalizovano rešenje za upravljanje posadama u železničkom saobraćaju. Ovaj softver omogućava planiranje, raspoređivanje i praćenje radnog vremena, smena, odmora i odsustava zaposlenih. CMS omogućava automatsko prepoznavanje nedostataka u raspoloživosti osoblja i nudi efikasna rešenja za njihovu zamenu, čime se minimiziraju potencijalni operativni problemi i povećava fleksibilnost u upravljanju ljudskim resursima.

### 4.3. Softverska rešenja za projektovanje železničke infrastrukture

Savremeni razvoj železničke infrastrukture nezamisliv je bez upotrebe naprednih softverskih rešenja koja omogućavaju efikasnije i preciznije projektovanje železničkih pruga. Softveri poput Ferrovio by CGS igraju ključnu ulogu u procesu planiranja i projektovanja, pružajući inženjerima alate za optimizaciju trasa i analizu različitih varijanata pre same izgradnje.

Ferrovio by CGS je specijalizovani softver za projektovanje železničkih pruga, koji omogućava kreiranje trase pruge i detaljnu analizu primenjenih parametara, Ferrovio je takođe kompatibilna sa softverima za modeliranje informacija o objektima (Building Information Modeling – BIM), što omogućava bolje upravljanje podacima i olakšava saradnju između različitih sektora u procesu projektovanja i izgradnje. [9]

Pored Ferrovio softvera, široku primenu ima i AutoCAD Civil 3D, koji se koristi za modeliranje terena, projektovanje geometrije pruge i integraciju sa geodetskim i infrastrukturnim podacima. Civil 3D

pruža fleksibilne alate za rad sa koridorima, profilima i poprečnim preseccima, što omogućava detaljno planiranje trase i prateće infrastrukture. U kombinaciji sa železničkim modulima ili dodatnim softverima, Civil 3D može da bude veoma koristan u ranim fazama projektovanja.

Korišćenjem ovih i sličnih softverskih rešenja, projektanti i inženjeri mogu značajno da poboljšaju efikasnost i preciznost planiranja železničke infrastrukture. Digitalne simulacije omogućavaju analizu različitih scenarija pre nego što se krene u fizičku realizaciju, čime se smanjuju greške i dodatni troškovi. Integracija sa geodetskim podacima i mogućnost povezivanja sa bazama podataka o terenu omogućavaju precizno usklađivanje trase sa postojećim geografskim i infrastrukturnim uslovima. [10]

### 4.4. Softverski alati za bezbednost železničkog saobraćaja

Bezbednost u železničkom saobraćaju predstavlja ključnu komponentu koja direktno utiče na sigurnost putnika, tereta i infrastrukture. Razvoj tehnologije i napredak u oblasti softverskih rešenja omogućili su efikasnu implementaciju sistema koji povećavaju bezbednost železničkog saobraćaja. Softverski alati koji se koriste u ovoj oblasti omogućavaju unapređenje praćenja sigurnosnih parametara, prepoznavanje i prevenciju potencijalnih rizika, kao i automatsko upravljanje u vanrednim situacijama.

Softverska rešenja za bezbednost u železničkom saobraćaju omogućavaju kontinuirano praćenje i analizu podataka sa vozova i infrastrukture. Korišćenjem senzora i drugih tehnologija, ovi sistemi mogu da detektuju nepravilnosti, kao što su oštećenja na mreži ili potencijalni tehnički problemi, što omogućava pravovremene intervencije i sprečavanje nesreća.

QGIS (Quantum GIS) je vrlo relevantan softverski alat koji može da igra ključnu ulogu u oblasti bezbednosti železničkog saobraćaja, posebno kada je reč o analizi prostora, planiranju rute, proceni rizika i kartografiji. Ovaj alat se često koristi u ra-

zličitim industrijama za analizu prostornog okvira i merenje sigurnosnih parametara. QGIS je softver za geografsku analizu i prostorno planiranje koji omogućava korisnicima da vizualizuju, analiziraju i manipulišu prostornim podacima. U kontekstu železničkog saobraćaja, QGIS se koristi za mapiranje železničkih pruga, infrastrukture, stanica i drugih važnih objekata, kao i za identifikaciju potencijalnih opasnosti.

Pomoću QGIS-a, železničke kompanije mogu da kreiraju mape za simulaciju potencijalnih nesreća ili prekida u saobraćaju i procene njihov uticaj na okolinu i infrastrukturu. Takođe, koristi se za mapiranje mesta nesreća i identifikovanje obrazaca koji mogu da pomognu u preventivnoj analizi i unapređenju bezbednosti. QGIS može da bude integrisan sa drugim softverskim alatima za bezbednost, kao što su sistemi za automatsku kontrolu voza (ETCS) i sistemi za praćenje tehničkog stanja infrastrukture. Ova integracija omogućava sinergiju između geografskih podataka i podataka u realnom vremenu, što doprinosi boljoj proceni rizika i preciznijem reagovanju na potencijalne sigurnosne pretnje. [11]

## 5. ZAKLJUČAK

Razvoj i implementacija softverskih rešenja u železničkom saobraćaju predstavljaju ključni korak ka modernizaciji ovog vida transporta. Upotreba naprednih tehnologija uključujući AI, ML, BD i IoT, omogućava optimizaciju svih segmenata železničkog sistema. Od planiranja reda vožnje i upravljanja kapacitetima, preko prediktivnog održavanja i sigurnosnih mehanizama, do povećanja energetske efikasnosti i smanjenja operativnih troškova, digitalizacija donosi brojne prednosti koje poboljšavaju kvalitet i pouzdanost železničkog saobraćaja.

Međutim, proces implementacije softverskih rešenja nije bez izazova. Kompleksna železnička infrastruktura, zastareli sistemi koji su još uvek u upotrebi, kao i visoki troškovi ulaganja u novu tehnologiju često otežavaju uvođenje inovacija. Regulatorna i standardizacija takođe igraju značajnu ulogu u

ovom procesu, jer je neophodno da softverska rešenja budu kompatibilna sa postojećim propisima i međunarodnim normama. Pored tehničkih i finansijskih ograničenja, značajnu prepreku predstavlja i otpor zaposlenih prema promenama, što zahteva dodatnu edukaciju i prilagođavanje radne snage novim tehnološkim uslovima.

Uprkos navedenim izazovima, globalni trendovi pokazuju da će se digitalizacija železničkog saobraćaja nastaviti i u budućnosti. Razvoj autonomnih vozova, unapređenje sistema za detekciju kvarova, inteligentna upravljačka rešenja i integracija sa drugim vidovima transporta doprineće stvaranju efikasnijeg, sigurnijeg i ekološki prihvatljivijeg železničkog sistema. S obzirom na rastuće zahteve za održivim transportom i smanjenje emisije štetnih gasova, investicije u napredna softverska rešenja biće od suštinskog značaja za konkurentnost železnice u odnosu na druge vidove saobraćaja.

Da bi se uspešno prevazišle prepreke u implementaciji softverskih rešenja, neophodan je sveobuhvatan pristup koji uključuje saradnju između državnih institucija, železničkih operatera, tehnoloških kompanija i akademske zajednice. Inicijative koje podstiču istraživanja, pilot-projekte i eksperimentalne implementacije novih tehnologija mogu značajno da doprinesu bržoj i efikasnijoj transformaciji železničkog sektora. Dodatno, edukacija zaposlenih i prilagođavanje regulative savremenim tehnološkim zahtevima omogućiće postepenu integraciju digitalnih rešenja u svakodnevno funkcionisanje železničkog saobraćaja.

Uspešna implementacija softverskih rešenja zavisi od balansiranja između tehnološkog napretka i realnih mogućnosti njihovog sprovođenja u praksi. Iako izazovi postoje, potencijal koristi koje donosi digitalizacija železnice jasno ukazuje na neophodnost kontinuiranog ulaganja u inovacije. Pravilnim planiranjem i strateškim pristupom, železnički sektor može da iskoristi prednosti savremenih softverskih rešenja kako bi postao efikasniji, bezbedniji i konkurentniji u budućnosti.

**LITERATURA**

- [1] Kokeza, Ž., Ilić, M., & Belošević, I. (2025). NAPREDNA SOFTVERSKA REŠENJA ZA IZRADU REDA VOŽNJE U ŽELEZNIČKOM SAOBRAĆAJU. *Železnice*, 2024(2), 87–94. Preuzeto od <https://www.casopis-zeleznice.rs/index.php/zeleznice/article/view/136>
- [2] Pravilnik o prijavljivanju, istraživanju, evidentiranju, statističkom praćenju i objavljivanju podataka o nesrećama i nezgodama.
- [3] I. Hansen, J. Pachtl, "Railway Timetable & Traffic", EURailpress, Hamburg, 2008.
- [4] Hoogendoorn S., Taale H., Bertini L., *The Future of Traffic Management - State of the Art, Current Trends and Perspectives for the Future*, UIC Publications, Paris 2021.
- [5] [https://www.crrcgc.cc/zzs/2024-07/04/article\\_2024070410322091789.html](https://www.crrcgc.cc/zzs/2024-07/04/article_2024070410322091789.html)
- [6] Zhang, Y., Ding, Y., Li, H., Liu, Y. A Review of Big Data Analytics in Railway Transport, *Journal of Rail Transport Planning & Management*, Elsevier, Vol. 19, 2021.
- [7] [www.digi.com](http://www.digi.com)
- [8] Kass A., Goossmann R., „Implementation of the timetable planning system STRAX/TPS in Denmark”, *Computers in Railways IX*, vol. 1, Drezden, Nemačka, 2004.
- [9] <https://www.ivu.com/>
- [10] Lošić N., Savković D., Ivić M., Kosijer M., PLANIRANJE I PROJEKTOVANJE ŽELEZNIČKE INFRASTRUCTURE PRIEMENOM CAD I BIM TEHNOLOGIJA”, *Železnice* 2018 (1), str. ((16-26)). Preuzeto od <https://www.casopis-zeleznice.rs/index.php/zeleznice/article/view/44>,
- [11] Ivić M., Belošević I., Planiranje i saobraćajno projektovanje železničkih pruga, Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet, Beograd, 2025.
- [12] Volarac, D., Pavlović, N., & Ilić, M. (2025). PRIMENA QGIS SOFTVERA ZA OBRADU PODATAKA O PUTNO-PRUŽNIM PRELAZIMA. *Železnice*, 2024(2), 102–122. Preuzeto od <https://www.casopis-zeleznice.rs/index.php/zeleznice/article/view/131>