

# Interni komunikacijski sustavi u željezničkom prometu

---

Crnković, Iris

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:491794>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-25**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**uniri** DIGITALNA  
KNJIŽNICA

**dabar**  
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**POMORSKI FAKULTET**

**IRIS CRNKOVIĆ**

**INTERNI KOMUNIKACIJSKI SUSTAVI U  
ŽELJEZNIČKOM PRIJEVOZU**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**POMORSKI FAKULTET**

**INTERNI KOMUNIKACIJSKI SUSTAVI U  
ŽELJEZNIČKOM PRIJEVOZU**

**INTERNAL COMMUNICATION SYSTEMS IN  
RAILWAY TRANSPORT**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Automatizacija u prometu

Mentor: prof. dr. sc. Vinko Tomas

Ime i prezime studentice: Iris Crnković

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112078245

Rijeka, kolovoz 2022.

Student: Iris Crnković

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112078245

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI DIPLOMSKOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom "Interni komunikacijski sustavi u željezničkom prijevozu" izradila samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Vinka Tomasa.

U radu sam primijenila metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristila literaturu koja je navedena na kraju diplomskog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući navela u završnom radu na uobičajen, standardan način citirala sam i povezala s fusnotama i korištenim bibliografskimjedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Studentica

Iris Crnković

Student: Iris Crnković

Studijski program: Tehnologija i organizacija prometa

JMBAG: 0112078245

IZJAVA STUDENTA – AUTORA  
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student - autor

## **SAŽETAK**

Glavni cilj ovoga rada bio je prikazati interne komunikacijske sustave u željezničkom prometu. U radu se najprije pojašnjavaju što je zapravo interna komunikacija te definicija komunikacijskih sustava i odnos istih na željeznicu. Nakon toga se navodi kako se upotrebljavaju željezničke tehnologije, inteligentna infrastruktura, održavanje željeznica te sustavi informiranja prometa. Na kraju dodatno su pojašnjene komunikacije za pametni željeznički prijevoz te ostale podjele komunikacijskog prijevoza – kritični, nekritični i dizajn mreža koji se odnosi na spoj kritične i nekritične komunikacije.

Ključne riječi: komunikacije, komunikacijski sustavi, kritični, nekritični, dizajn mreža

## **SUMMARY**

The main purpose of this paper was to present the internal communication systems in railway traffic. The basic main components explain what internal communication actually is and the definition of communication systems and their relationships on the railway. After that, it is stated how railway technologies, intelligent infrastructure, railway maintenance and traffic information systems are used. In the end, communications for smart rail transport and other divisions of communication transport were additionally strengthened - critical, non-critical and network design related to the combination of critical and non-critical communication.

Keywords: communications, communication systems, critical and non-critical network design

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	3
2. MODERNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE?.....	4
2.1. KOMUNIKACIJSKI SUSTAVI I KOMUNIKACIJE.....	5
2.2. USPOSTAVA SUSTAVA POKRETNIH KOMUNIKACIJA ZA ŽELJEZNICE.....	7
2.3. MODERNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE S FUNKCIJOM DIGITALIZIRANE ŽELJEZNICE..	7
2.4. MOBILNE KOMUNIKACIJE U ŽELJEZNIČKOM PROMETU .....	10
2.5. BEŽIČNE KOMUNIKACIJE U ŽELJEZNIČKIM SUSTAVIMA.....	11
3. UPORABA URBANIH ŽELJEZNIČKIH TEHNOLOGIJA .....	14
3.1. AUTOMATIZACIJA UPRAVLJANJA VLAKOVIMA.....	16
3.2. SUSTAVI ZA INFORMIRANJE PUTNIKA.....	17
3.3. PAMETNI ŽELJEZNIČKI KOLODVORI.....	18
3.4. ODRŽAVANJE ŽELJEZNICA .....	19
3.5. INTELIGENTNA INFRASTRUKTURA .....	21
4. PRISTUPNA TOČKA U NACIONALNOM SUSTAVU ZA IZMJENU INFORMACIJA O MULTI MODALNOM PRIJEVOZU.....	22
5. KOMUNIKACIJE ZA INTELIGENTNI ŽELJEZNIČKI PRIJEVOZ.....	24
5.1. KRITIČNE KOMUNIKACIJE .....	25
5.2. NEKRITIČNE, ŠIROKOPOJASNE KOMUNIKACIJE .....	27
5.3. DIZAJN MREŽA ZA KRITIČNE I NEKRITIČNE KOMUNIKACIJE .....	29
6. ZAKLJUČAK .....	32
LITERATURA .....	33
POPIS SLIKA .....	34

## 1. UVOD

Komunikacijski sustavi u željezničkom prometu su jedan od najvažnijih čimbenika prometa, a čimbenici se odnose najprije na kvalitetu i sigurnost odvijanja prometa da se promet odvija u što jednostavnijem obliku. Uz to, najbitnije je da se smanje čekanja u prometu i broj zastoja.

Željeznice su se počele razvijati u 16. stoljeću te do dan danas su doživjele veliki napredak. Tijekom stvaranja i razvijanja željeznice koristile su se životinje – konji, te sve do poboljšanja udobnosti vagona i s tim počinje putnički i teretni razvoj željeznica.

Da bi interne komunikacije funkcionirale, potrebno je imati određenu razrađenu komunikaciju i određene sustave da bi mogli upravljati tom komunikacijom. Najviše se to odnosi na GSM-R koji je koncentriran na govorne i podatkovne usluge s kojom željeznica može svakodnevno funkcionirati.

Svrha i cilj ovog rada je istraživanje što se događa u željezničkom prometu, kako se problem događa te kako najbolje riješiti problem. Proučavanje željezničke infrastrukture te proučavanje internih komunikacija vrlo je bitno za napredovanje i poboljšanje željezničkog prometa. Još jedan od ciljeva ovog rada je analizirati i istražiti značajke željezničkog prijevoza ovisno o kojoj se vrsti komunikacije radi, uporabe urbanih željezničkih tehnologija te pristupne točke željeznice.



## 2. MODERNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE?

Svaki od nas tko je barem jednom sudjelovao u dosadašnjem radu organizacije, jasnije mu je da bez organizacije nema bez komunikacije. To se ne svodi jedino na komunikaciju s vanjskom javnošću (klijenti, mediji, korisnici, kupci...). Svodi se i na komuniciranje s unutarnjom javnosti (članovi udruga, političkih stranaka, zaposlenici...), te je to naziv za internu komunikaciju. Takav djelić komunikacije ponekad zna biti zanemaren za razliku od vanjskog komuniciranja. Snažne, uspješne organizacije i njihovi lideri svjesni su kolikovažnost ima interna komunikacija, jer je odnos s ljudima postao sastavni dio cjelokupnog razvoja organizacije. Samim time predstavlja važnu ulogu u procesu poslovanja, odnosno funkcioniranja organizacije.

Postoji prilika za današnje interne komunikacijske timove da prijeđu na sljedeću razinu strateškog usklađivanja sa svojim internim klijentima. Jedan od načina da se to postigne je uzeti tradicionalniju metodu strateškog komunikacijskog planiranja i ugraditi je u proces strateškog planiranja poslovne jedinice. Kada se to uspješno dovrši, tim za internu komunikaciju može se prebaciti s osjetljivije, taktičke uloge u podršci drugoj poslovnoj jedinici na proaktivnu savjest organizacije koja je također komunikacijski trener za vođe i formalniji pokretač izvršenja zaposlenika protiv strateške inicijative. Ova identificirana prilika podržana je pregledom literature koji pokriva komunikaciju i njenu ulogu u ishodima strateških inicijativa, vodstvo i njihove komunikacijske vještine, jezik i kontekst, taktike uvjeravanja i ono što komunikacijski plan čini strateškim.

Na temelju ovih spoznaja predstavljen je i raspravljen revidirani model za razvoj strateškog internog komunikacijskog plana. Namjera revidiranog modela je:

1. promicati bolje usklađivanje između internog komunikacijskog tima i klijenata poslovne jedinice,
2. pomoći internom komunikacijskom timu u održavanju vjerodostojnosti za stolom rukovođenja

- internom komunikacijskom timu pružiti platforma za demonstriranje kako ostvaruju rezultate u odnosu na krajnje rezultate poslovne jedinice.

## **2.1. KOMUNIKACIJSKI SUSTAVI I KOMUNIKACIJE**

Komunikacijski sustav sadrži skup uređaja i sredinu koji omogućuju prijenos signala koji u sebi sadrži određene informacije, od njenog davatelja do primatelja. Mogućnost međusobnog razumijevanja odnosno komuniciranje ključna je stvar u željezničkom prometu. S vezi činjenice da se u prekograničnome prometu već neko vrijeme ne upravlja značajan postotak vlakova u teretnom i putničkom prijevozu u djelovanju Europskog sustava upravljanja željezničkim prometom (ERTMS), propust primjene dijalekta u međuregijalnom željezničkom prometu, ni dan danas nije percipiran na adekvatan način.

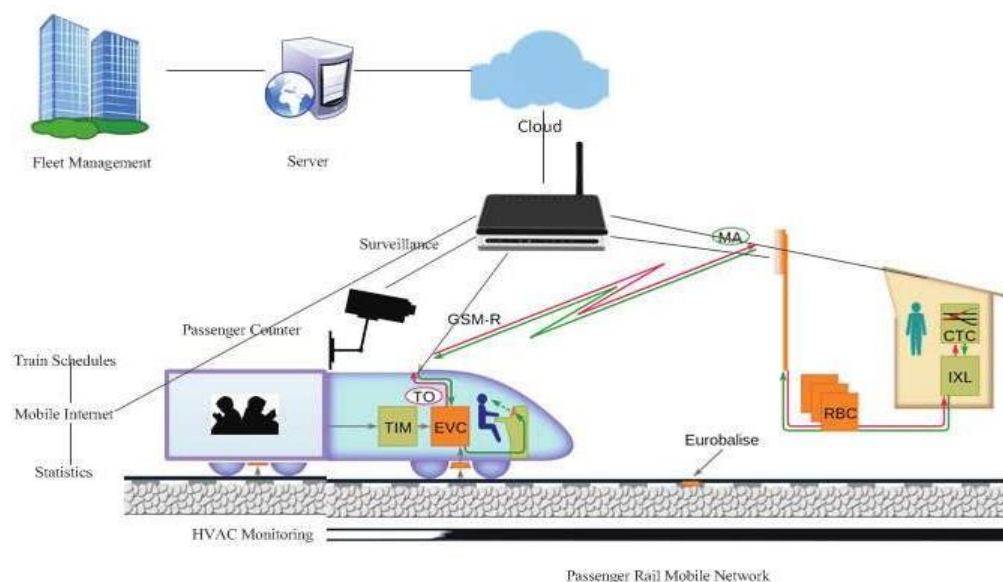
Trenutačno rješenje koje određuje osnovnu primjenu nečeg što se naziva radni jezik te se označava kao jezik upravitelja infrastrukture, za koji se definirana da se upotrebljava u pisanoj i govornoj konverzaciji u značaju pisanog zahtjeva, ne doprinosi uspostavljanju sposobnosti željezničkog sustava za neprekinut i siguran željeznički promet te se postižu kompleksne razine efikasnosti, nego je limitira, odnosno onemogućava, može se dogoditi da ima potencijalno negativni učinak na sigurnost prometa, zbog tvrdnje da od spomenutih zaposlenika koji učestvuju u intermodalnom prometu iziskuje poznavanje dva ili više jezika, što dovodi do mogućeg nerazumijevanja.

Svjedoci smo i dalje voze da državne granice označavaju i tehničko-tehnološke granice kao i jezične da ipak vlakovi voze do državne granice, unatoč tome što vučna sredstva i vozno osoblje i dalje izmjenjuju na državnoj granici, pri čemu se ta izmjena vrši na kolodvoru definirano sporazumom. Između određenih zemalja Europske unije sam prekogranični promet protječe na osnovnom preduvjetu ugovorenih veza između država, između željezničkih prijevoznika i upravitelja infrastrukture, unatoč tome se na mnogobrojnim dionicama koristi regionalna signalizacija i sustav za sigurnost vlakova, pri kojem je uporaba vokabulara upravitelja infrastrukture zasigurno jedna olakotna okolnost kada se radi o kompatibilnosti.

Ukoliko bi se opisani problem otklonio, neophodno je unaprijediti navedene operativne pravilnike koji objašnjavaju te se dotiču komunikacije na idući način :

- S izgleidima kad se radi o rukovoditelju infrastrukture i željezničkom prijevozniku koji ne budu iz istovrsne država ili iz država istog jezičnog sektora, točnije iz zemalja istoga govornog lokaliteta pri čemu se stanovnici shvaćaju bez da im je potreban prevoditelj, kao dodatan cjeloviti interes bi se trebao dodati "radni" dijalekt infrastrukturnog upravitelja i željezničkih prijevoznika trebali bi definirati engleski jezik.
- Papirologiju za osoblje i strojovođe infrastrukturnog upravitelja koja rukovodi prometovanjem vlakova, po potrebi bi se vodilo dvojezično - na engleskom jeziku te na jeziku infrastrukturnog upravitelja.
- Ključno je osmisliti dvojezični rječnik sačinjen od koncepata koji se uglavnom upotrebljavaju u komunikaciji.

U vidu svega spomenutog, dodavanje engleskog kao dodatnog "radnog" jezika koji bi se koristio u slučajevima kada je to prijeko potrebno, primjerice kada infrastrukturni upravitelj i željeznički prijevoznik ne budu iz jednake države ili države istog govornog središta, države iz govornih središta koja mogu uspostaviti komunikaciju bez ikakvog prevoditelja, solucija je koje će osigurati odgovarajuću snagu za pružanje i primanje usluga od drugih sustava i uvrstiti u jednakopravan položaj upravitelja infrastrukture i željezničkog prijevoznika.



Slika 1. Tipična komunikacija na željeznici

Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/Communication-in-typical-European-railway-transport-management-system\\_fig1\\_282507618](https://www.researchgate.net/figure/Communication-in-typical-European-railway-transport-management-system_fig1_282507618)

## **2.2. USPOSTAVA SUSTAVA POKRETNIH KOMUNIKACIJA ZA ŽELJEZNICE**

U ovom kontekstu jako su nam važni sustavi pokretnih komunikacija za željeznice ili takozvani Global System for Mobile Communications for Railyways koji koriste kraticu GSM-R. Internetska stranica koja se bavi internom efikasnosti i prikupljanjem informacija u željezničkom prometu. Sustav pokretnih komunikacija možemo objasniti kao tehnologiju koja integrira sve dosadašnje pokretne radio aplikacije. U Europskoj uniji se od 1997. godine primjenjuje standard za korištenje pokretne telefonije u željezničkom prometu. 32 zemlje članice Međunarodne Željezničke Unije (UIC) su potpisnice Memoranduma o razumijevanju, koji obavezuje sve predstavnice na postupan prijelaz s analognih sustava na GSM-R.

Hrvatska je također potpisnica Međunarodne Željezničke Unije (UIC). U istočnoj Europi ali također i na svjetskoj razini naročito u Sjevernoj Americi i Aziji primjećuje se veliki interes i rastući trend GSM-R pilot projekata. Željeznička verzija GSM-e a ispunjava karakteristične zahtjeve neophodne u željezničkom prometu. Jedni od tih zahtjeva su frekvencijski pojas od 900 MHz te grupni poziv, funkcionalno adresiranje, određivanje prioritetnih poziva, govorni i digitalni radio kanal za prijenos podataka.

Uvođenje GSM-R sustava u Hrvatske željeznice omogućeno je kreiranje studija o pokrivanju četiri međunarodna koridora ( X, Vb, Vc, Zagreb- Split) ukupne duže pruge od 1.280 km. Najavljena je realizacija jednog pokretnog komunikacijskog centra (MSC), 200 baznih stanica (BTS) i 5 kontrolora baznih stranica (BSC). Dodatno je osigurano dogradnju 520 vlakova sa kabinskim terminalima te također je osigurano 2.700 pokretnih radio uređaja (prijenosnih i operativnih) za osoblje. Osiguravanje optimalnog načina komunikacije primarno s prioritetom osiguravanja učinkovitog i sigurnog kretanja vlakova ali i specifičnog rada željezničkog sustava u potpunosti.

## **2.3. MODERNE KOMUNIKACIJSKE TEHNOLOGIJE S FUNKCIJOM DIGITALIZIRANE ŽELJEZNICE**

Digitalnu transformaciju rada uporabom jedinstvenih komunikacijsko-informacijskih tehnologija nadograđuje mnogobrojne industrijske grane pa također i prometni, a solucije

koje se u tom aspektu primjenjuju trebaju biti usklađena s internacionalnim standardima i adekvatnim pravilnicima za polje prometa Europske Unije i Republike Hrvatske.

Poneki od važnijih nositelja razvitka digitalizacije u željezničkom segmentu biti će između ostalog mreže petog naraštaja takozvane 5G. Načelima 5G komunikacije za željeznički komunikacijski mobilni sustav dati će se bitan angažman ubrzanju modernizacije željezničkih interakcija i pružati potporu željezničkome sektoru u korištenju resursa digitalizacije da bi se dogodila unaprjeđenja produktivnosti i efikasnosti rada, zapažanja putnika i sigurnosti podataka i mreže.

Osnovna tehnološka rješenja koja dolaze sa unaprjeđenjem potencijalnih željezničkih komunikacijskih mobilnih sustava jer osnivanje na 5G mreži omogućiti će željezničkom prometu efikasno i s iskušenjem transformiranje i digitalizacije poslovanja. Realizacijom aplikacija i kritičnih mreža omogućava pouzdane i postojeane usluge iduće generacije koje sačinjavaju mobilne bežične komunikacije viših funkcionalnosti, kao temelj za željezničke modele budućnosti. Također, prikazani su potencijalni novi izvori informacija, koji su opremljeni s postignućima znanosti o izvještajima u značajnoj mjeri jamče preobrazbu željezničkog sektora, kao kompleksni zahtjevi za nacionalnu prilaznu točku za razmjenjivanje podataka o multi modalnom putovanju.

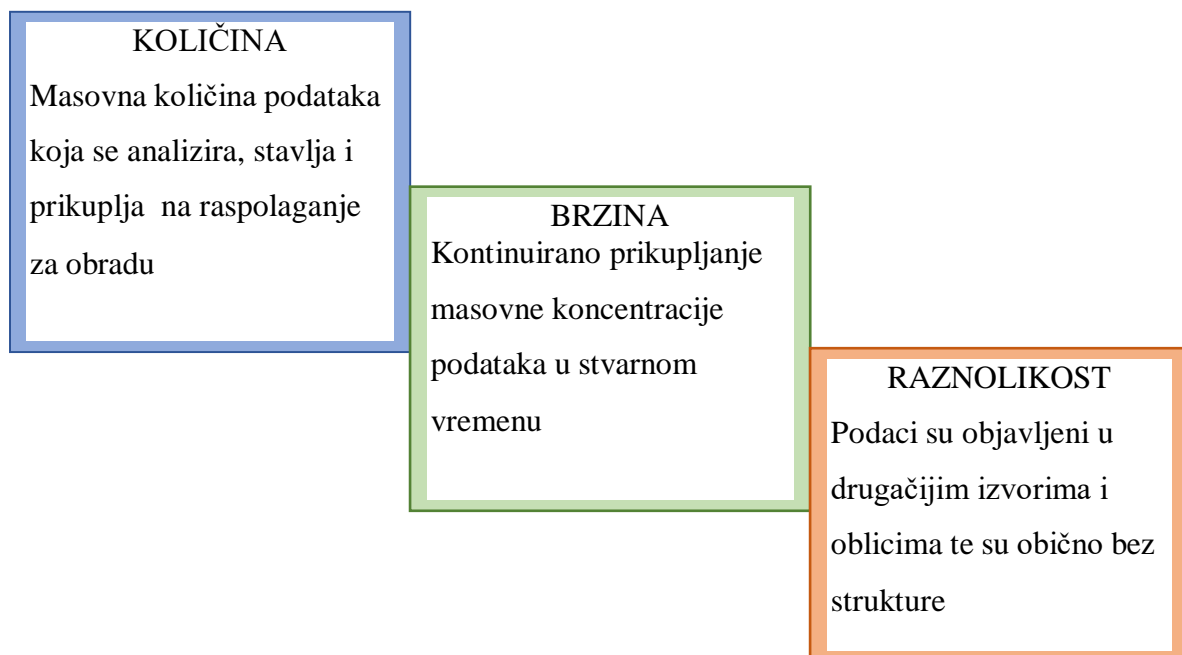
Govoreći o "5G" komunikacijskoj mreži, odnosi se na pojam koji se fokusira na iduću (petu) skupinu mobilne komunikacije novih tehnologija. Potencijal u bežičnim telekomunikacijama definira se u "generacijama" kada se približno svakih sljedećih deset godina aktualni skup tehnologija označava važan pomak unaprijed u kontekstu budućih aplikacija i usluga. Za mnogobrojne analitičare razvitak tehnologije 5G presudan je za porast europske ekonomije. 5G ima potencijala za kreiranje budućeg zaposlenja i stimuliranje porasta u mnogim industrijama koje žele upotrijebiti bežičnu mobilnu tehnologiju kako bi postajale prepoznatljive, razvile dodatne investicijske modele i nudile buduće usluge.

Automatiziranom se vožnjom obuhvaća automatiziranost pretjecanja, kooperativnost sprječavanje sudara, povećana koncentracija sigurnosti na cestama i tarife karakteristične za djelotvornost prometa, kao naprimjer pogled iz ptičje perspektive, detekcije ranjivih korisnika, pogledom kroz prepreku, naposljetku se koristi digitaliziranje logistike i prijevoza uz mjerenje pomoću daljinskog i rukovođenje te obrada daljinskih podataka samo su neki od upotrebe. Službeni izvještaji koji se koriste u prometnom inženjerstvu heterogene su naravi i sakupljaju se kod drugačijih resursa pri čemu se generalno prihvaćaju u tri skupine. Prva skupina sačinjavaju konvencionalni resursi podataka koji

obuhvaćaju opće prihvaćene resurse podataka kao naprimjer senzor na infrastrukturi željeznice (kamere, brojač osovina...), ekološki senzori ili meteorološka stanica.

Druga skupina podataka ubraja se u informacijsko-komunikacijsko sustav. Slučajevi ovakvih sistema jest sistem za nadziranje statusa entiteta u željezničkom prometu (vagon), sustav za inteligentne karte prijevoza... Treća skupina podataka sačinjena je od takozvanog novog izvora informacija koji uključuju uporabu prilično novih metoda tehnologije anjihova provedba u prometnome inženjerstvu još se uvijek nije rasprostranila i raširila (društvene mreže, javne telekomunikacijske mreže).

Osnovna struktura izvornih informacija iz navedenih gore skupina ( izuzev prve ), nije pribavljanje ili procesiranje relativnih informacija o prometnome sustavu ti sustavi mogu generirati podatke koji su upotrebljivi u prometnome inženjerstvu. Priličan uspjeh u informatičkim tehnologijama i značajan trend rasta globalnih resursa, stvarali su okruženje u kojem se zapisi produciraju u značajnoj mjeri, što je uzrokovano velikim skupovima podataka koji se i dalje razvijaju. Veliki skupovi informacija su vrsta informacija kojima se ispunjava tri uvjeta:



**Shema 1: Tri uvjeta prikupljanja masovnih podataka**

## 2.4. MOBILNE KOMUNIKACIJE U ŽELJEZNIČKOM PROMETU

S nastankom velikih količina podataka koji su se nalazili u skupovima, također se pojavljuje najnovija metoda koja se naziva znanost o podacima. U metodama se navodi da su određeni podaci inicijator razvoja gospodarstva te preduvjet mnogih današnjih usluga i proizvoda, pokretač efikasnosti i poboljšanja učinkovitosti resursa u svim sektorima gospodarstva. Ključan su čimbenik u razvitku usluga i proizvoda. U strategiji je naznačeno da su izvještaji pokretači razvoja gospodarstva te je temelj mnogobrojnih usluga i proizvoda, inicijator unaprjeđenja učinkovitosti resursa i produktivnosti u mnogim sektorima gospodarstva. Jedan djelić razvoja namijenjen je prometu te se u strategiji navodi da je potrebno potaknuti kolektivni europski prostor za pružanje informacija o mobilnosti koji smješta Europu na poziciju razvitka inteligentnog sustava, uključivši osobni automobil i pojedine oblike prijevoza.

Ovakav mrežni prostor će ubrzati i olakšati dostupnost podacima, razmjenjivanje i okupljanje iz spomenutih baza informacija o mobilnosti i prometu. Promet i mobilnost su u žarištu diskusije o izmjeni podataka, a to je čitavo područje u kojem Europska unija posjeduje mnogobrojne benefite. Nova oprema, koja uključuje optičke kabele i tornjeve za radio prijenos, postavlja se duž 935 km željezničke pruge, uglavnom na međunarodnim koridorima mreže. Prioritet je dan dionicama pruge koje zahtijevaju da Globalni sustav mobilnih komunikacija – željeznice (sustav GSM-R) zadovolji zakonodavstvo EU koje se odnosi na interoperabilnost podsustava zapovijedanja, kontrole i signalizacije na transeuropskoj željezničkoj mreži (poznatoj kao TEN-T program).

### *Poboljšanje prekograničnih usluga*

Instalacija omogućuje Mađarskoj uspostavljanje interoperabilnih željezničkih komunikacijskih veza sa susjednim zemljama Austrijom, Rumunjskom, Slovačkom i Slovenijom. Bit će bolje, besprijekornije međunarodne usluge za putnike željeznicom, budući da ulaganje osigurava sedam graničnih prijelaza s interoperabilnom komunikacijskom opremom.

Ovaj novi sustav zamjenjuje onaj koji nije prikladan za prijenos podataka ili upravljanje prometom. GSM-R će također omogućiti uvođenje usluga s dodanom vrijednošću u budućnosti, kao što su sustavi za informacije o putnicima i elektronička prodaja karata.

### ***Povećana pouzdanost***

Povećanje pouzdanosti željezničke komunikacije na ovim dionicama pruža sljedeće procijenjene prednosti:

- Smanjenje vremena putovanja ključnim međunarodnim željezničkim rutama Mađarske za ukupno 61 minutu do 2015
- Smanjenje vremena čekanja na međunarodnim granicama za oko 118 980 minuta do 2016.;
- Poboľšanje sigurnosti u prometu, s oko 3 140 manje incidenata do 2016.;
- Povećanje brzine putovanja na mreži između 120-160 km/h; i
- Smanjenje kašnjenja od oko 103 690 minuta do 2016.

Ovo je prvi projekt u dvofaznoj shemi uvođenja GSM-R u glavnu željezničku mrežu Mađarske. U drugoj fazi sustav će biti postavljen duž daljnjih 2 129 km pruge.

### ***Ukupna investicija i EU financiranje***

Ukupna investicija za projekt "Nabava GSM-R sustava i povezanih usluga" iznosi 492 231 947 EUR, od čega Kohezijski fond EU doprinosi sa 74 018 000 EUR iz Operativnog programa "Promet" za programsko razdoblje od 2007. do 2013. godine. Radovi spadaju u prioritet "Poboľšanje međunarodne dostupnosti željezničkih i plovnih mreža zemlje".<sup>1</sup>

## **2.5. BEŽIČNE KOMUNIKACIJE U ŽELJEZNIČKIM SUSTAVIMA**

Bežične tehnologije su uvelike razvijene posljednjih godina i sada su spremne odgovoriti na sve veće zahtjeve komunikacijskih usluga za kontrolu, rad i održavanje

---

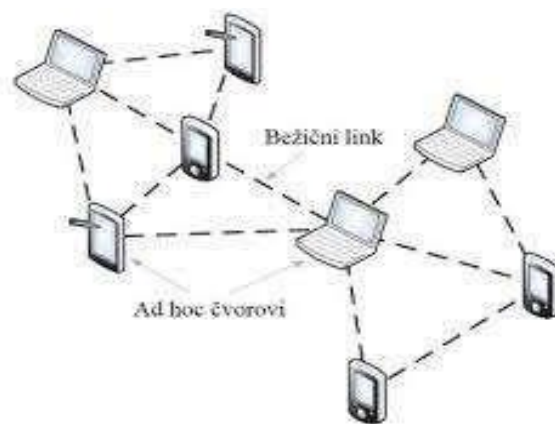
1 (htt) Ukupna investicija i EU financiranje



pametnih transportnih sustava. Postojeće radijske tehnologije uključuju Wi-Fi, WiMAX , dugoročnu evoluciju, bežične senzorske mreže, bežične ad hoc mreže, a posebice buduće tehnologije pete generacije (5G) koje će se usredotočiti o razvoju inteligentnih transportnih sustava zemaljskih i zračnih vozila. Ove tehnologije u nastajanju mogu značajno poboljšati rad, učinkovitost, pouzdanost i iskustva putnika, ali svaka komunikacijska mreža mora biti dizajnirana i konfigurirana kako bi zadovoljila posebne zahtjeve svakog transportnog sustava. Danas transportni sustavi imaju veliku potražnju za komunikacijama s vrlo strogim zahtjevima kvalitete, kapaciteta i pouzdanosti. Jedan od najboljih "testnih slučajeva" za analizu komunikacija u prometnim sustavima je vlak velike brzine (HST). U HST komunikacijskoj mreži možemo razlikovati dvije vrste komunikacija: kritične i nekritične komunikacije.

Kritične komunikacije između HST-a i infrastrukture koriste se za kontrolnu signalizaciju za povećanje brzine, učinkovitosti, sigurnosti i pouzdanosti. Ove komunikacije su kritične jer su neophodne za visokoučinkovit rad transportnog sustava tako da on mora imati vrlo visoku pouzdanost i dostupnost (>99%). Ipak, važno je napomenuti da komunikacije nisu odgovorne za sigurnost. Sigurnost ovisi o drugim sustavima instaliranim na brodu ili u infrastrukturi. Na primjer, ako uzmemo u obzir HST, komunikacija Globalnog sustava za mobilne željeznice (GSM-R) sada se koristi za prijenos telemetrije (pozicije) vlakai za slanje odobrenja za kretanje vlaka. Ova informacija je neophodna za povećanje brzine vlaka iznad 300 km/h i mora se ažurirati svakih 100 ms. Ako se ne ažurira tijekom 1 sekunde, doći će do hitnog procesa smanjivanja brzine vlaka na sigurnu vrijednost. Kako bi se zajamčila ova izvedba, potrebno je postići komunikacijske sustave vrlo visoke kvalitete sa redundancijom i poboljšanom pouzdanošću. GSM-R se naširoko koristi u brzim vlakovima ali trenutno željeznički operateri žele poboljšati performanse vlakova i prijeći na automatsku vožnju tako da im je potreban novi bežični komunikacijski sustav velikog kapaciteta koji može uključiti video prijenos visoke kvalitete od vlaka do kontrolni centar. Drugi primjer mogla bi biti uporaba bespilotnih letjelica za poboljšanje sigurnosti i pouzdanosti pametnog željezničkog prijevoza. Kao što je predloženo u, ove se platforme mogu koristiti za omogućavanje i poboljšanje komunikacije i rada sljedeće generacije pametnih transportnih sustava. Za ove primjene bespilotne letjelice također trebaju kritičnu komunikacijsku vezu i vezu za korisni teret. Kritična komunikacijska veza koristi se za slanje položaja bespilotne letjelice iz zraka na tlo i slanje upravljačkih naredbi ili putnih točaka bespilotnoj letjelici. Postojat će i nekritična komunikacijska veza koja se može koristiti u nekoliko svrha poput

video prijenosa za željezničke incidente ili praćenje infrastrukture ili kao pokretni relej za hitnu komunikaciju. Dakle, u oba slučaja korištenje kritičnih komunikacija je obavezno, a te komunikacije moraju imati visoku kvalitetu usluge jer iako sigurnost ne ovisi o njima, česti kvarovi na komunikacijama mogu smanjiti pouzdanost. Iz tih razloga kritični komunikacijski sustav ima vrlo posebne zahtjeve i mora se oslanjati na vrlo dobro dokazanu tehnologiju posebno prilagođenu pametnom transportnom sustavu. Nekritične komunikacije koriste se za korisni teret, dopunske usluge i putničke usluge. U ovom slučaju, potrebna nam je širokopolasna komunikacija za dodatne usluge kao što su video visoke razlučivosti i podatkovne usluge putnika. Neki primjeri mogu biti video veza koju prenosi bespilotna letjelica ili širokopolasni internet za putnike brzog vlaka. U oba slučaja glavni zahtjev je kapacitet, tako da je dizajn ovih komunikacija potpuno drugačiji. Trenutno su ove komunikacije u stalnom razvoju i jedan su od glavnih izazova za sljedeće godine i za 5G tehnologije. Konačno, bežični senzori i ad hoc mreže koje se koriste za sigurnost i nadzorsada se koriste za pružanje dodatnih usluga vozilima, a korištenje milimetarskih valova, teraherca i satelita bit će relevantno u budućnost za pružanje komunikacije između vozila, radarskih senzora i komunikacija u vozilu za različite primjene u vozilima.



Slika 2. Ac hoc mreža

Izvor : <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/2334-816X/2018/2334-816X1802047M.pdf>

### 3. UPORABA URBANIH ŽELJEZNIČKIH TEHNOLOGIJA

Urbani željeznički sustavi omogućuju brzi prijevoz, velike količine prijevoza, visoku pouzdanost, sigurnost itd. Ovi sustavi glavni su dio modernog gradskog prometa mreže. Međutim, takvi sustavi ne pružaju "vrata do vrata". Kako bi se osigurala brza gradska željeznica sustavi rade učinkovito s visokim stopama iskorištenja, željeznička pruga i stanica moraju biti pažljivo locirani. Osim toga, vodovi moraju biti učinkovito povezani s drugim načinima prometa kako bi se uspostavio učinkovit sustav. Došlo je do raznih problema s pristupom željeznici. U trenutnoj informacijskoj platformi gradske željeznice, uglavnom sastoji se od prednje jedinice za prikupljanje podataka, okosnice mreže i od pozadinskog poslužitelja te podatke prikupljene od strane front-enda oprema za prikupljanje prenosi se na pozadinski poslužitelj putem okosnica mreže. Na strani poslužitelja, tipična konfiguracija. Mnogo je problema u ovoj arhitekturi, jedan od najvažniji su:

1. Uz daljnji razvoj bežične tehnološka i informacijska industrija, tradicionalna urbana bilo je teško prilagoditi se željezničkoj informacijskoj platformi trend budućnosti. Na primjer: gradska željeznica trebala bi biti raznolika plaćanja u budućnosti, međutim, tradicionalni urbani željeznička informacijska platforma s kojom se očito teško nositi ovakva potražnja. Još jedan primjer, trenutni urbani željeznički raspored uglavnom ovisi o prometu vlaka dijagram dovršen prije operacije. U budućem vlaku sustav za planiranje trebao bi biti u mogućnosti za planiranje u stvarnom vremenu na temelju stanja prometa u stvarnom vremenu. Opet, buduće emitiranje sustav gradske željeznice trebao bi pokriti cijeli grad, sve putnik uvijek može provjeriti stanje vožnje vlaka, stanje kolodvorskog i linijskog prometa za planiranje putovanja. planira unaprijed, kako bi se uštedjelo vrijeme putovanja, optimizirali društveni resursi.
2. Tradicionalne platforme su skupe, nije ih lako napraviti održavanje, teška nadogradnja, slaba pouzdanost i tako dalje. Trenutno, zbog sigurnosnih zahtjeva gradske željeznice, sve usluge uređaja su posebne, na primjer: postoje sustavi radna stanica za održavanje, radna stanica za održavanje uređaja, radna stanica za održavanje dozvola, radni monitor radna stanica, radna stanica za statistiku, radna stanica za financije, plan radna stanica, radna stanica za ulaznice, radna stanica za

reviziju, radna stanica za donošenje odluka itd. u upravljanju operacijama centra, svaka usluga pokreće samo jedan set softvera.

Ovaj dizajn troši mnogo resursa opreme, a potrebno je za sigurnost gradske željeznice. Međutim, to nije dovoljno za sigurnost gradske željeznice, svaka služba mora imati svoj backup server koji umjesto primarne usluge kada je neuspjeh. Slično tome, raznolikost uređaja donijela je kompleks gradska željeznička tvrtka koja se može održavati mora uspostaviti višestruke poslove održavanja uređaja. Drugo, teško je nadogradnja. Ogromna količina opreme, složeni podaci odnosi, dovode do toga da jedna od usluga nadograđuje druge usluga koja se pojavljuje različite vrste problema, i to je potrebno obustaviti neke uređaje tijekom napredovanja nadogradnja. Isto tako, ako je jedan servis oštećen, drugi uređaji bit će ozbiljno pogođeno, teško za brzi oporavak. Konačno, to stvorio probleme otoka informacija koji umjetno razdvajaju podataka kako bi se poboljšala robusnost sustava. Podatak između servisnih čvorova se ne dijeli, nije općenito, nije sinkronizirane i međusobne smetnje. Moderni komunikacijsko-informacijski sustav s upotrebom suvremenih izvorišta informacija te znanosti o podacima u željezničkom prometu upotrebljivi su segmentima koje dijelimo na šest elemenata.



Slika 3. Gradska željeznica - Rijeka

Izvor: <https://www.rijeka.hr/gradska-uprava/gradski-projekti/aktualni-projekti-2/promet-i-mobilnost/izgradnja-drugog-kolosijeka-i-uspostava-brze-gradske-zeljeznice/>

### 3.1. AUTOMATIZACIJA UPRAVLJANJA VLAKOVIMA

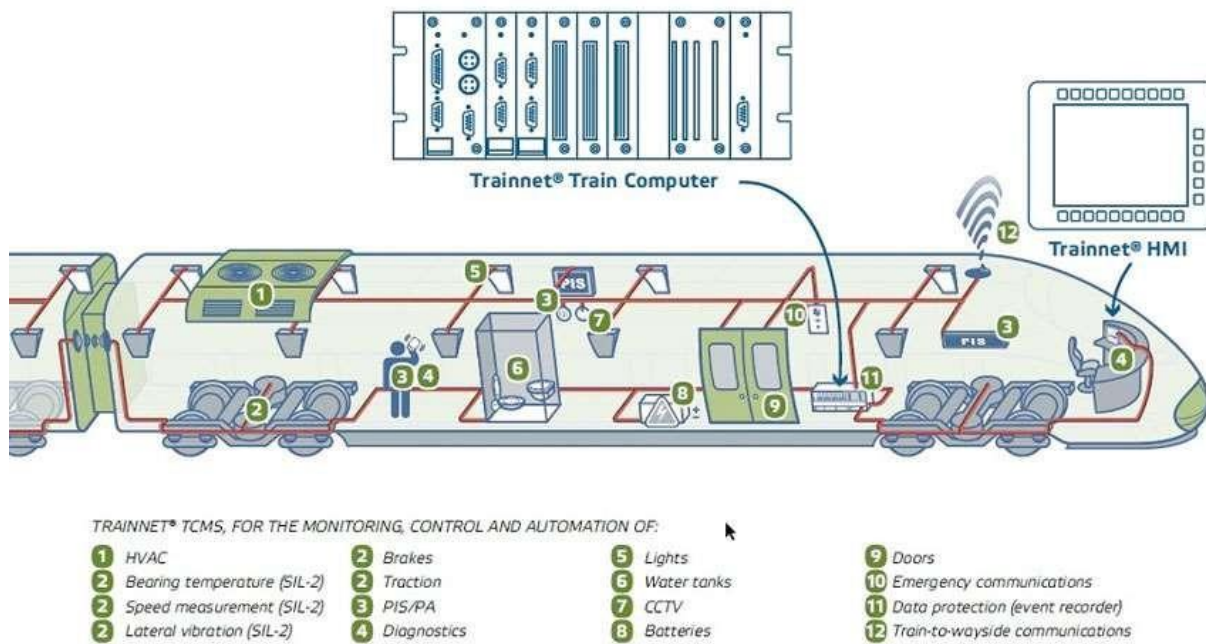
Automatizacija upravljanja vlakom je sustav koji služi za zaštitu vlakova za željeznice koji obuhvaćaju sustav koji kontrolira brzinu te tako odgovara na vanjske ulaze. Na primjer, sustav bi trebao obaviti aktivaciju kočnja u nuždi ako vozač nema reakciju na opasni signal. Sustavi automatizacije upravljanja vlakom nose kraticu ATC. Imaju tendenciju da uklope različite vrste tehnologije kabinske signalizacije (komunikacija u kojem se stanju nalazi pruga te stanje u kabini, vagona...) i upotrebljavaju zrnatiji formular usporavanja za zamjenu krutih zaustavljanja koja su se pronašla kod starije tehnologije automatskog zaustavljanja vlaka.

Tijekom godina je postojalo puno raznovrsnih sigurnosnih sustava koji nose oznaku „automatsko upravljanje vlakom“. Prvu oznaku je koristila Velika zapadna željeznica, ako je nosila naziv automatski sustav upozorenja. Izraz se često koristio u Japanu, gdje se često koristio na svim linijama, posebno na linijama vlaka sa mecima (Shinkansen) i na određenim konvencionalnim željezničkim linijama.

Uporaba u tome rezultirati će povećanom razinom operativne efektivnosti, energetske efektivnosti, iskoristivosti pruženog kapaciteta te smanjivanjem potrebnog sigurnosnog razmaka vlakova te preciznosti vremena dolaska i polaska vlakova.

Primjeri :

- Automatizacija procesa manevriranja
- Podrška za buduće verzije ETCS-a (European Train Control System)
- Precizno pozicioniranje vlaka da bi se ustanovilo da li ima određenih prepreka na pruzi
- Osiguravanje podrške u emitiranju videozapisa u realnom vremenu



Slika 4. Sustav kontrole i upravljanja vlakomkom

Izvor: <https://sellacontrols.com/train-control-and-management-system-tcms/>

### 3.2. SUSTAVI ZA INFORMIRANJE PUTNIKA

Primjena ovog sustava omogućuje povećanje kakvoća usluge koja se osigurava putnicima i povećava razinu zadovoljstva kod putnika prilikom korištenja usluga željezničkog prometa kroz polja uporabe te se pri tome željeznički promet diže na veću razine kvalitete. Vrlo važni sustavi za informiranje putnika su glasovni i vizualni sustavi. Točno vrijeme i sustavi davanja vizualnih informacija putnika o odlascima i dolascima vlakova te se za to koriste informacijske ploče. Glasovno informiranje se sastoji od različitih prenositelja govornih informacija preko razglasa na zvučnike na stajalištu i kolodvoru. Vizualno informiranje se sastoji od unutarnje glavne informacijske ploče, vanjskih, kolosiječnih informacijskih ploča. Dimenzije i izgled ploča razlikuju se prema mjestu ugradnje te prema namjeni. Ploče su smještene u zatvorenom prostoru (čekaonica, vestibul). Glasovno informiranje putnika nije automatizirano, a poruke koje dolaze iz zvučnika priopćuje prometnik. Digitalni kolodvorski uređaji sastoje se od sklopovskog uređaja koji se nalazi u telekomunikacijskoj prostoriji. Moguće je postaviti sustav koji će zasebno puštati glasovnu

poruku temeljeći se na dobivenim informacijama ovisno u kojoj se poziciji nalazi vlak. Takav sustav je već u upotrebi u vlakovima HŽ.

Primjeri :

- Video najava na putničkim uređajima
- Povezanost zaslona u vlaku sa putnikovim uređajem
- Povezanost raznih modaliteta prijevoza preko aplikacije



Slika 5. Signalno sigurnosni uređaj

Izvor: <https://www.prometna-zona.com/signalno-sigurnosni-uredaji/>

### 3.3. PAMETNI ŽELJEZNIČKI KOLODVORI

Osnovni zadatak u ovome aspektu je reorganizirati i modernizirati željezničke kolodvore tako da koristimo primjenu komunikacije i digitalne tehnologije koja osigurava bolju i veću razinu sigurnosti te uštedu energije. S brzim razvojem gradskog željezničkog prijevoza, stanice postupno formiraju trend industrije od zadovoljavanja osnovnih potreba operacije do inteligentnog razvoja. Ovaj rad, kroz proučavanje pametnih stanica, razbija prepreke međusobnog povezivanja podataka između postojećih sustava opreme, i što je još važnije, redefinira uslužne funkcije stanica, razumije nove potrebe putnika i upravljanje operacijama, te optimizira dizajn arhitekture, funkcionalni struktura i mrežna struktura upravljačke platforme. Uzimajući centraliziranu i vizualnu funkciju rasklopne stanice s jednim gumbom usvojenu u upravljačkoj platformi kao primjer, pokazuje se da istraživanje

pametnih stanica uvelike štedi vrijeme otvaranja i zatvaranja stanica u upravljanju radom i poboljšava automatizaciju opreme stanice. Ove studije su od velikog značaja za izgradnju i razvoj pametnih stanica, a također mogu poslužiti kao referenca za izgradnju pametnih stanica u drugim gradovima.

Primjeri :

- Inteligentni sustavi videonadzora za rukovođenje u urgentnim situacijama te reakcija na incident.
- Automatsko praćenje koje bi omogućilo sigurno ulazanje putnika u vlakove i izlaženje iz vlakova
- Regulacija objekata koji se nalaze na kolodvoru (rasvjeta, dizala, pokretne stube, ventilaciju)
- Inteligentni sustavi za proizvodnju energije i sustav za operiranjem vlakova koji se nalaze na kolosijecima



Slika 6. Inteligentni teretni vlakovi

Izvor: <https://www.bosch.com/stories/smart-trains/>

### 3.4. ODRŽAVANJE ŽELJEZNICA

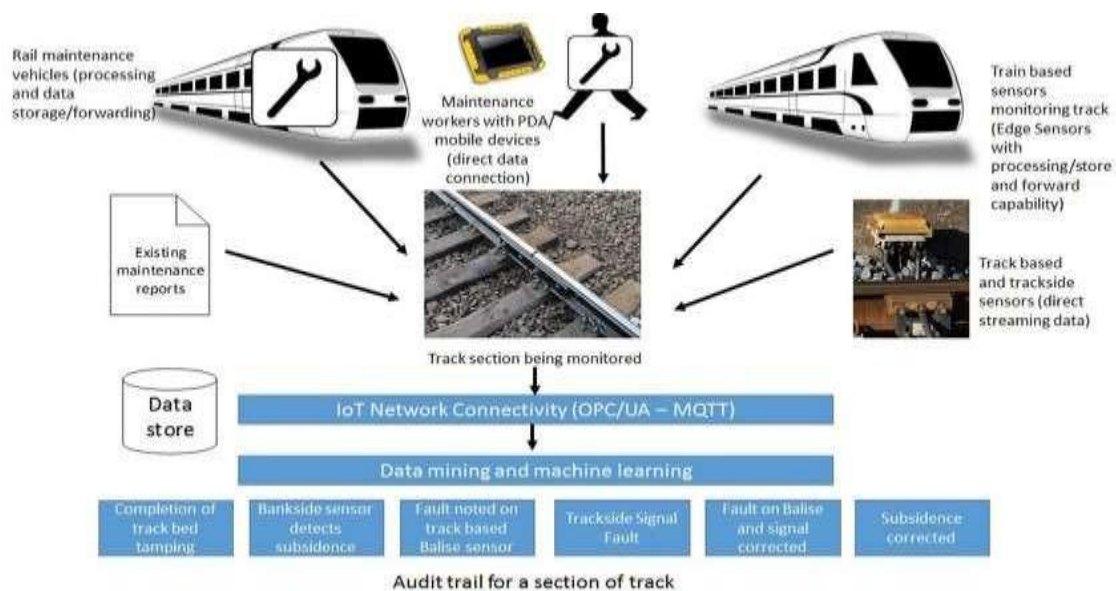
Primarni zadatak u tome segmentu je povećanje sigurnosti, pojednostavljenje operacije i povezati posebna vertikalna rješenja novih sustava koji garantiraju automatizaciju i



integraciju organiziranja pokretnih entiteta (vagona, lokomotiva... ), željezničke infrastrukture i druge resurse u funkcioniraju željezničkog prometa. Zahtjevi za pouzdanim, dobro održanim sustavima željezničkih vozila rastu. Automatizacija je postala pametnije rješenje u raznim željezničkim aplikacijama za povećanje kapaciteta, pouzdanosti i učinkovitosti željezničkog sustava. Sustavi automatizacije kao što su vizualni pregled i industrijske robotske ruke igraju ključnu ulogu u teškim manipulacijama i opasnim operacijama. Učinkovitost održavanja i opća sigurnost bili bi znatno poboljšani. Postojipraznina u istraživanju za sustavne pristupe donošenju odluka o tome koji su zadaci održavanja prikladni za automatizaciju. Ovaj rad predstavlja generički okvir raspodjele funkcija održavanja željeznica, koji pomaže u donošenju odluka pri raspodjeli zadataka održavanja u ranim fazama uvođenja automatiziranih rješenja u moderno skladište za održavanje željezničkih vozila. Analizirana su radna okruženja skladišta i prikazan je primjer robotskog pregleda kotača.

Primjeri :

- Otkrivanje nedostataka na infrastrukturi
- Održavanje sustava i prognostička analitika
- Upotreba bespilotnih daljinskih letjelica



Slika 7. Održavanje željeznice i protoka senzora za dio pruge

Izvor: [https://www.researchgate.net/figure/An-audit-trail-drawn-from-rail-maintenance-activities-and-sensor-streams-for-a-section-of\\_fig1\\_336239156](https://www.researchgate.net/figure/An-audit-trail-drawn-from-rail-maintenance-activities-and-sensor-streams-for-a-section-of_fig1_336239156)

### 3.5. INTELIGENTNA INFRASTRUKTURA

U ovome aspektu govorimo o povećanju sigurnosti i učinkovitosti te poticanjem slučajeva uporabe čija se svrha odnosi na digitalizaciju cjelokupne željezničke infrastrukture. S poboljšanjem tehnologije i sposobnosti upravljanja poslovanjem, posebice potrebe za upravljanjem podacima, željeznički dionici imaju veća očekivanja i zahtjeve za razinom informatizacije željezničke infrastrukture.

Kako bi se podržao razvoj informacija o željezničkoj infrastrukturi, platforma za praćenje pružat će usluge za sve predložene projekte, projekte u izgradnji, projekte rada i održavanja Kineske željeznice, čime se promiče informacijsko i standardizirano upravljanje infrastrukturom u cijelom životnom ciklusu izgradnja, rad i održavanje željeznice.

Platforma za praćenje usvaja tehnologiju digitalnog blizanaca, integrira upravljanje modelom BIM+GIS, pristupa podacima senzora interneta stvari u stvarnom vremenu, uspostavlja integrirani centar za praćenje izgradnje, rada i održavanja željeznice, ostvaruje praćenje infrastrukture velikih brzina u stvarnom vremenu. Kroz virtualno mapiranje i mapiranje stvarnosti te interaktivnu integraciju svih elemenata, svih podataka, svih modela i svih prostora, koji su ostvarili veliku transformaciju upravljanja željeznicom velikih brzina i rada od fenomena vođenog do podataka vođenog, probijajući se kroz ključne tehnologije inteligentnog predviđanja i rano upozoravanje na željezničku infrastrukturu velikih brzina, kako bi se bolje poboljšala razina usluge i učinkovitost upravljanja željeznicom velikih brzina.

Primjeri:

- Upravljanje prometom u stvarnom vremenu
- Sustav za automatsko prepoznavanje opasnosti
- Povezanost željezničkog prijelaza i implementiranje sustava automatiziranih upozorenja
- Izvrsna percepcija o stanju prijevoznih sredstava i popratne infrastrukture oko više senzorskih sistema ( radar, lidar, kamera...)

#### **4. PRISTUPNA TOČKA U NACIONALNOM SUSTAVU ZA IZMJENU INFORMACIJA O MULTI MODALNOM PRIJEVOZU**

Podaci koje će pružatelj usluga u željezničkom prometu izmjenjivati će se drugim dionicama koji se nalaze te se u sustavu koristi u prijenosu, također i s putnicima, preko regionalnih prilaznih točaka. Pristupna točka u nacionalnom sustavu odnosi se na elektronsko sučelje u kojem su određeni izvještaji zajedno s adekvatnim meta podacima distribuirani za korisnike uz moguću upotrebu ili u kojem su podaci i njihovi meta podaci pristupačni za svoje korisnike. Točka pristupa može biti u elementu registra, internetskim portalima, repozitorija te sličnog, ovisi o kojoj se kategorija podataka radi.

U potpunom skladu s Europskim uputama i uredbama, članica država Europske unije trebali bi obuhvatiti dosadašnje privatne i javne prilazne točke iz koje bi bilo moguć pristup ostalim oblicima raspoloživih i bitnih informacijama koji se reguliraju područjem uporabe tih specifikacija. Komunikacijsko-informacijski sustavi koji se koristi u funkciji nacionalne pristupne točke zamišljen je kao posrednik u prijenosu podataka te mu je zadaća da poveže izvore korisnike informacije i informacije na kontroliran i siguran način. Primarni cilj sustava je da se omogući povezanost niske latencije među uređajima, izvorima informacija, poslovnim aplikacijama, posrednicima, krajnjim korisnicima i korisnicima. Sustav omogućuje da se stvaraju nove usluge u području inteligentnih prijevoznih sustava koje se definiraju u standardiziranome, sigurnom i otvorenom okružju.

Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća u sklopu uvođenja pametnih sustava u cestovnom prometu i za točke koje će se povezati s ostalim vrstama prometa odredila se kroz prioritete mjere te ih dijelimo na šest segmenata:

- A. Pružanja prometnih podataka u cijeloj EU u realnom vremenu
- B. Pružanje multi modalnih putničkih informacija u cijeloj EU
- C. Postupak i podaci koji se pružaju korisnicima i gdje je moguće, besplatne osnovne opće prometne informacije u vezi cestovne sigurnosti
- D. Usluge pružanja rezervacije zaštićenih i sigurnih parkirališta za gospodarska vozila i kamione

E. Pružanje usluga informiranja o zaštićenim i sigurnim parkiralištima za gospodarska vozila i kamione

F. Usklađeno osigurani interoperabilnog sustava eCall u cijeloj EU

U Hrvatskoj je u punom zamahu uspostavljanje regionalne prilazne točke, a u skladu s točkama A (Informiranje i pružanje u cijeloj EU u realnom vremenskom periodu), C (Postupak i podaci koji se pružaju korisnicima i gdje je moguće, besplatne osnovne opće prometne informacije u vezi sigurnosti na cesti) i E (Usluge informiranja o zaštićenim i sigurnim parkiralištima za gospodarska vozila i kamione).

Uz tvrdnju, željeznički prijevoz središnja točka multimodalnoga prijevoza putnika, pogotovo se to odnosi na integrirani putnički prijevoz, razumljivo je kako je tema regionalne pristupne točke za multimodalni prijevoz intrigantna baš odjelu željeznice. Nacionalna pristupna točka nije uspostavljena u Republici Hrvatskoj ali zahtjevi su poznati za specifičnim značajkama da bi odredba ostala u skladu s očekivanjem delegirane uredbe. Točka pristupa treba imati mogućnosti obrade i pohrane podataka te distribuirane tih informacija prema trećim stranama preko adekvatnih aplikacijskih i komunikacijskih sučelja:

- Sučelja koja se bave programiranjem aplikacija te se omogućava pristup podacima koji su statični u prometu i putovanjima preko regionalne pristupne točke te trebaju biti javno dostupne ukoliko bi krajnji klijenti i korisnici uspjeli imati pristup te da bise mogli prijaviti
- Sučelja koja se koriste za umrežavanje sustava koji su postojani te informacija zbog razmjene ruta koje su unaprijed izračunate. Preporuka je da za davanje određenih informacija koje su vezane za putovanja tijekom distribuiranog osmišljavanja putovanja koristi europska tehnološka specifikacija koja se još zove – pametni sustavi prijevoza – javni prijevoz – otvorena sučelja za programiranje određenih aplikacija za distribuirano osmišljavanje putovanja.

Točka pristupa trebala bi imati sposobnosti da se kreira veći broj korisničkih profila za različite krajnje korisnike, korisnike i dionike, povezivanje s postojećim izvorima podataka, upravljanje operativnim i poslovnim procesima, razmjenjivanje resursa sustava između raznih korisnika i dionicima koji su funkcionalno i logički posve nezavisni te naplata korištenja podataka ( ako za to postoji potreba ).

## 5. KOMUNIKACIJE ZA INTELIGENTNI ŽELJEZNIČKI PRIJEVOZ

Kako prometni sustavi postaju sve automatiziraniji, vozila imaju sve veću potražnju za komunikacijom i opremaju se s više bežičnih komunikacijskih usluga i senzora. Međutim, maksimalna brzina prijenosa podataka komercijalnih komunikacijskih sustava (npr. 4G) još uvijek je ograničena na 100 Mb/s za visoku mobilnost, pa stoga trenutne tehnologije nisu dostatne za rukovanje brzinama podataka terabajta po satu koje se mogu generirati u vozilima sljedeće generacije. Isto tako, željezničke komunikacije moraju pružiti različite aplikacije visoke brzine prijenosa podataka za putnike i usluge vlakova. Ove aplikacije potrebno je implementirati u pet željezničkih scenarija:

1. Vlak do infrastrukture (HD video i druge informacije koje se prenose u stvarnom vremenu među različitim infrastrukturama)
2. Međuvagon (bežična mreža između vagona)
3. Intravagon (veze između korisničke opreme i pristupnih točaka vagona)
4. Unutar stanice (veze između pristupnih točaka i korisničke opremeu željezničkim/metro stanicama)
5. Infrastruktura do infrastrukture (HD video i druge informacije koje se prenose u stvarnom vremenu među različitim infrastrukturama)

Za scenarije "unutar stanice" i "infrastruktura-infrastruktura", zahtjevi za propusnost su od nekoliko stotina MHz do nekoliko GHz, ovisno o konkretnim uvjetima. Za scenarije "unutar vagona" i "međuvagona", bit će potrebne širine pojasa od 1 do 10 GHz. Kao glavno sučelje između mreže na vlaku i fiksne mreže, scenarij "vlak-infrastruktura" prenosi agregirani tok scenarija između/unutar vagona. Stoga je potrebna širina pojasa od nekoliko GHz za prilagodbu brzinama podataka od preko 100 Gbps. Takva visoka brzina prijenosa podataka i veliki zahtjevi za širinom pojasa čine jaku motivaciju za istraživanje nedovoljno

iskorištenih milimetarskih valova pa čak i teraherc pojaseva. Sa stajališta bežičnih kanala, postoje brojni otvoreni izazovi i šanse za istraživanje i razvoj milimetarskih valova i teraherc zemaljskih i satelitskih komunikacija koje omogućuju pametni željeznički prijevoz. Među svih pet gore navedenih scenarija, najizazovniji je scenarij vlak do infrastrukture (1). Kao glavno sučelje između mreže u vlaku i fiksne mreže te kanal trpi jaku dinamiku. Stoga je izazvao veliku pozornost, pa se u nastavku rada uglavnom bavimo njime, umjesto da ukratko govorimo o svih pet scenarija s jednakom težinom.

## 5.1. KRITIČNE KOMUNIKACIJE

Za razliku od brzih i inovativnih promjena u komercijalnim mobilnim komunikacijama, razvoj kritičnih komunikacija u javnom prijevozu bio je dosta odmjereni, uglavnom zbog kritičnih zahtjeva. Među svim kritičnim komunikacijama u željeznici, GSM-R je standard koji se najviše koristi, a njegova stabilnost je provjerena više od 10 godina. Međutim, zbog ograničenog prijenosnog kapaciteta, globalni sustav mobilne komunikacije za željeznice se uglavnom primjenjuje na podatkovne komunikacije za kontrolu vlakova.

Kako bi se pružile nove željezničke usluge kao što su videonadzor i praćenje u stvarnom vremenu, istraživački napori sada su usmjereni na LTE kao tehnologiju sljedeće generacije. Konkretno, mogućnosti LTE-a u smislu budućih operativnih potreba željeznice trenutno se preispituju u okviru projekta sustava mobilnih komunikacija željeznice budućnosti. Nedavno su autori u predložili LTE željeznicu kao integrirani bežični željeznički komunikacijski sustav potvrđivanjem postavljenog testnog uređaja. Štoviše, "kvaliteta signalana vrhu i unutar vlaka", "lančana vrsta mreže" i "jamčenje kvalitete usluga za sigurnosne usluge" glavna su kritična pitanja koja zahtijevaju daljnje i dublje tehničko razmatranje:

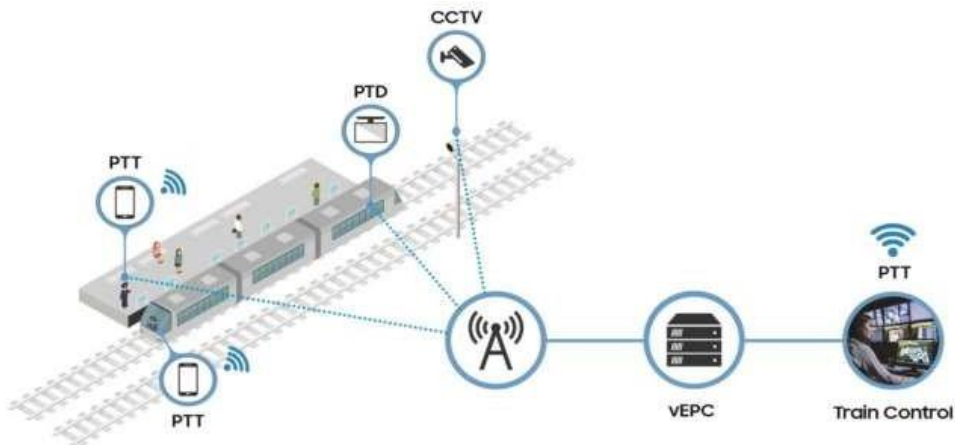
1. Kvaliteta signala na vrhu i unutar vlaka: kada se koristi način izravnog pristupa za terminale u vozilu (obično na vrhu vlaka ili automobila) i mobilne terminale unutar vlaka ili automobila, najkritičniji problem tijekom optimizacije ćelije je postizanje ciljane razine jačine primljenog signala za ugrađene i mobilne terminale. To je uglavnom zato što signal iz bazne stanice koji prodire izravno u automobil trpi gubitak prodora do 24 dB. Takva razlika dvaju kanala, s jedne strane, postavlja

puno veće zahtjeve za snagu prijenosa bazne stanice, a s druge strane, zahtijeva pažljivo projektiranje parametara antene dva tipa prijemnika kako bi se osigurala određena razinu kvalitete signala istovremeno za ugrađene i mobilne terminale. Pri korištenju načina pristupa s dva skoka—jedan skok vlaka do infrastrukture i jedan skok unutar vagona—može se izbjeći takav izazov koji dolazi zbog velikog gubitka prodiranja karoserije vlaka.

2. Lančana vrsta mreže: umjesto heksagonalne ćelijske strukture u komercijalnim mrežama, željezničke namjenske komunikacijske mreže koriste ćelijsku strukturu sekvencijalnog lančanog tipa. Zbog ove jedinstvenosti namjenske mreže, komunikacijska shema ima priliku biti dodatno optimizirana uz nisku složenost i bez gubitka optimalnosti.
3. Jamčenje kvalitete usluge za ultrapouzđane aplikacije niske latencije: sigurnosno kritične aplikacije u vozilima mogu se općenito klasificirati kao detekcija vozila, detekcija ceste, detekcija trake, detekcija pješaka, detekcija pospanosti, izbjegavanje sudara i tako dalje. Sve te aplikacije pomažu vozačima i smanjuju potencijalne rizike od nesreća te stoga zahtijevaju ultrapouzđanost i nisku latenciju (npr. dopuštena latencija za upozorenje o prometnom signalu je 100 ms, dok je dopuštena latencija za upozorenje na sudar vozila 20 ms) .

Za željeznicu, obično sve usluge temeljene na sigurnosti trebaju najvišu razinu sigurnosti, nisku propusnost (manje od 1 kb/s po vlaku), značajna ograničenja kašnjenja (manje od 500–800 ms u najgorem slučaju, obično čak i manje), a obrazac prometa obično je promjenjiva brzina prijenosa u stvarnom vremenu.

Za glasovne pozive potrebne su veće brzine prijenosa podataka. Stoga je za podršku ovim uslugama važno održati podatkovnu povezanost na najvišoj razini prioriteta. Da bi se to postiglo, mrežni dizajn za kritične komunikacije u javnom prijevozu mora koristiti sofisticirane sheme upravljanja mrežom za rukovanje iznimnim situacijama kao što je prometna gužva.



Slika 8. Long term evolution (LTE) željeznice

Izvor : <https://news.samsung.com/global/koreas-first-lte-railway-network-starts-official-service-base-on-joint-efforts-of-samsung-and-sk-telecom>

## 5.2. NEKRITIČNE, ŠIROKOPOJASNE KOMUNIKACIJE

Danas se počinju razvijati komunikacijske mreže velikog kapaciteta za usluge tereta i putnike u prijevozu. Putnici u HST-ovima, metroima, zrakoplovima i brodovima zahtijevaju korištenje komunikacija poput onih koje imaju u svojim privatnim vozilima ili u svojim domovima. Također, operateri transportnih sustava zahtijevaju dodatne usluge kao što su:

1. Videonadzor visoke razlučivosti (HD) u vozilu i uz cestu koji je ključan za sigurnosne probleme (npr. automobili zaglavljani na željezničkim prijelazima, teroristički napadi).
2. Ugrađena povezanost visoke brzine prijenosa podataka u stvarnom vremenu za pregledavanje weba, video konferencije, video emitiranje i tako dalje.
3. HD video za otpremu vlakova u stvarnom vremenu između vlaka i kontrolnih centara vlakova potreban za otpremu vlakova i buduće sustave bez vozača, kao i informacije o putovanju koje se dinamički ažuriraju za sve putnike.



Međutim, implementacija ovih komunikacija u pametnim prometnim sustavima ima važnu složenost jer svaki prometni sustav ima svoje posebne karakteristike: broj korisnika, maksimalnu brzinu, konstrukciju vozila, infrastrukturu vozila i dr. Iz tih razloga potrebno je projektirati i prilagoditi komunikacijsku mrežu za svaki pojedini prometni sustav, te stoga možemo koristiti javne mreže za kritične komunikacije.

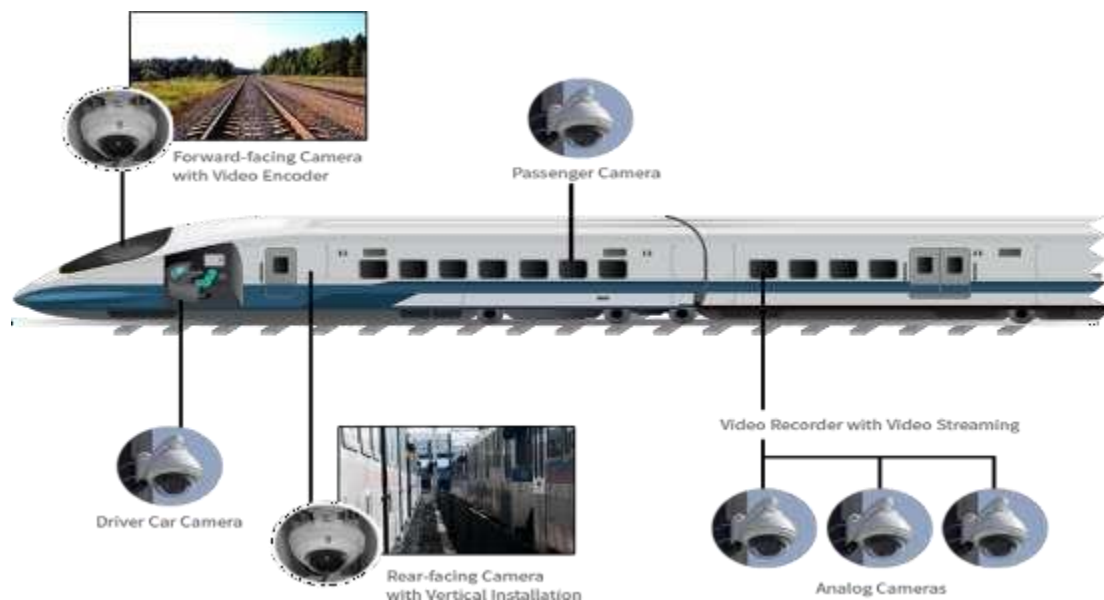
Prema specifikacijama transportnog sustava, potrebno je učinkovito koristiti javnu zemaljsku infrastrukturu u kombinaciji s drugim tehnologijama za povećanje kapaciteta i performansi. Stoga se korištenje 4G LTE mreža mora kombinirati s pokretnim relejnim rješenjima u vlakovima, a zatim kombinirati sa satelitskim mrežama i drugim 5G zemaljskim mrežama radi poboljšanja kapaciteta i smanjenja troškova. Stoga je potrebno pružiti širokopolasne usluge korisnicima s obzirom na karakteristike ovog prijevoznog sredstva i njegove posebnosti, koje su za brze vlakove sažete u podatkovnom kapacitetu blizu 1-10 Gbps za pružanje širokopolasne usluge do 1500 korisnika, koji su održavati intenzivnu povezanost. U tu svrhu, postoji problem brzih vlakova koji otežava korištenje zemaljskih mreža u pustinjama ili naseljenim područjima koja često prolaze novi vlakovi.

S druge strane, česti tuneli otežavaju korištenje satelita, pa se mora koristiti mješovito rješenje. Ova mreža mora biti sposobna pružiti širokopolasnu komunikaciju putnicima vlaka; u tu će svrhu imati redundantnu zemaljsku vezu koja se povezuje s prvim i zadnjim vagonom vlaka. Ova će veza koristiti rješenje pokretnog releja kako bi se postigla pouzdana komunikacija i smanjili zahtjevi fiksne infrastrukture. Mreža omogućuje korisnicima pristup zemaljskoj komunikacijskoj mreži velikog kapaciteta koja se distribuira unutar vlaka pomoću bežične mreže temeljene na novim standardima velikog kapaciteta. Satelitska veza se koristi kao rezervna veza za zemaljsku mrežu.

Ova veza trenutno omogućuje do 100 Mbps korištenjem antena s automatskom kontrolom azimuta i niskim profilom elevacije koje se mogu jednostavno postaviti na vrh vlaka, a u budućnosti će se kapacitet povećati na 1 Gbps. Cijeli komunikacijski sustav zahtijeva korištenje IP mreže duž vlaka s minimalnim kapacitetom od 10 Gbps. To će omogućiti upravljanje prometom različitih veza: vlak-zemlja, vlak-satelit i unutar vlaka. Komunikacija između vagona također se može obaviti korištenjem bežičnih veza od 10 Gbps na kratkim udaljenostima na milimetarskih valova ili teraherca, kako bi se omogućilo sastavljanje vlaka i minimizirale žičane veze na vagonima vlakova. Mreža stanica može imati

mnoge komunikacije između infrastrukture i infrastrukture za dodatne usluge kao što su transfer putnika, video nadzor, reklamni ekrani, digitalna TV i druge nove usluge.

Ova se izvedba može učinkovito koristiti na brzom vlaku korištenjem rješenja pokretnog releja u vlaku. Ove veze omogućuju pouzdanu komunikaciju do brzina od 350 km/h s problemom da se propusnost smanjuje s brzinom kada je kanal degradiran. Da bi se postigla veća propusnost, potrebno je zajedno koristiti mreže niže i više frekvencije. Ukratko, širokopojasne komunikacije u transportnom sustavu kao što je HST zahtijevaju složen projekt gdje je potrebno instalirati mrežu unutar vlaka i nekoliko vanjskih mreža koje kombiniraju zemaljske veze u mikrovalnim i milimetarskim valovima zajedno sa satelitskim vezama.



Slika 9. Video nadzor

Izvor : <https://stackrack.com/solution/railway-rolling-stock>

### 5.3. DIZAJN MREŽA ZA KRITIČNE I NEKRITIČNE KOMUNIKACIJE

Dizajn kritičnih i nekritičnih komunikacija potpuno se razlikuje od konvencionalnih mreža. U prvom slučaju potrebno je napraviti poseban dizajn mreže usmjeren na kvalitetu usluge i pouzdanost. U drugom slučaju, nekritične komunikacije usmjerene su na kapacitet. U oba slučaja, model i dizajn komunikacijske mreže potpuno su različiti, s obzirom na

arhitekturu čvora, sheme primopredaje, konfiguraciju releja, višestruki ulaz višestruki izlaz, antene i raznolikost. Zatim je potrebno precizno dizajnirati fizičko sučelje za svako posebno okruženje, dinamiku vozila i zahtjeve za putnicima ili teretom. Uključuje modeliranje propagacije, odabir valnog oblika i dizajn antene za trenutne komunikacijske pojaseve uglavnom za kritične komunikacije i za buduće milimetarske valove pojaseve za putnike i teret.

Visoka kvaliteta servisnih mreža temelji se na korištenju redundantnih komunikacija za povećanje pouzdanosti i lakoće održavanja. U tu svrhu, željezničke kritične komunikacije istovremeno koriste dvije jednake zemaljske mreže. Ovo rješenje jamči izvrsnu radio pokrivenost i pouzdanost. Nekritične komunikacije također mogu koristiti dvije ili više mreža u isto vrijeme, ali, u ovom slučaju, dizajn mreže je usmjeren na povećanje kapaciteta, tako da dvije ili više mreža rade paralelno i istovremeno jamče minimalnu pokrivenost u kompleksu područja. Obično se zemaljska mreža velikog kapaciteta može nadopuniti satelitskom vezom za pružanje radijske pokrivenosti udaljenih područja i drugim zemaljskim mrežama za poboljšanje kapaciteta na posebnim dijelovima pruge kao što su postaje ili gusto naseljena područja.

Dizajn nekritičnih komunikacija zahtijevat će drugačije rješenje. U ovom slučaju, dvije mreže će se preklapati s istom radio pokrivenošću kako bi se povećao kapacitet korisnika umjesto kvaliteta usluga i pouzdanosti. Za bežične mreže koje se koriste u kritičnim i nekritičnim komunikacijama, potrebno je napraviti pažljivo mrežno planiranje korištenjem determinističkih pristupa modeliranju kanala. Nove tehnike radijskog planiranja, poput praćenja zraka i algoritama za propagaciju željeznice mogu djelovati kao prvi izbor za ostvarivanje točnog proračuna veze. Glavne tehnike koje se koriste i definiraju za mrežno radijsko planiranje mogu se sažeti kako slijedi:

1. Uključivanje značajki ceste/željeznice u modele kanala: ovo je otvoreni izazov uglavnom uzrokovano nedostatkom standardnih modela kanala i referentnih scenarija isključivo za ceste/željeznice. Pekinško sveučilište Jiaotong definiralo je i izradilo skup modula referentnih scenarija za milimetarskih valova i teraherc zemaljske i satelitske željezničke kanale. Ovi moduli uključuju sve glavne objekte, kao što su pruge, stanice, mostovi, tuneli, usjeci, barijere, stupovi, zgrade, vegetacija, prometni znakovi, reklamni panoi, vlakovi, sa svojim tipičnim geometrijama i materijalima u stvarnosti. Mogu se koristiti neovisno za specifičnu

provjeru lokacije ili se mogu kombinirati na različite načine za provođenje statističke analize.

2. Dizajn milimetarskih valova i teraherca fiksnih i mobilnih mreža: ove frekvencije zahtijevaju točno i učinkovito radijsko planiranje, a simulacije praćenja zraka vrlo su korisne u ovom trenutku, ali točne simulacije su vrlo izazovne, jer će veliki broj objekata utjecati na kanal svojstva, te ih stoga treba uključiti u scenarije.
3. U trenutnoj implementaciji cestovne/željezničke mreže bit će potrebno vrlo brzo prilagodljivo oblikovanje snopa zbog visoke mobilnosti automobila/vlaka. Međutim, postoji šansa da se izbjegne zahtjev za takvim izazovnim oblikovanjem snopa, što je postavljanje odašiljačkih antena u istom smjeru duž ceste/željeznice i pomicanje primopredaje od sredine dviju baznih stanica u regiju kada je vlak vrlo blizu baznih stanica. S ovom inovacijom, i simulacije i mjerenja koja je u seúlskoj liniji podzemne željeznice 8 izvršio Institut za istraživanje elektronike i telekomunikacija implicira da čak i fiksna usmjerena antena) može podržati duljinu veze dužu od 1 km u uvjetima line-of-sight (LOS) i oko nekoliko stotina metara.
4. U usporedbi s visokim troškovima postavljanja namjenskih milimeteraski valovi i teraherc zemaljskih komunikacija, sateliti su dobro rješenje jer nema potrebe za zemaljskom mrežom (iako je potrebna rezervna tehnologija kada su automobili/vlakovi u tunelima). Mnogi istraživački projekti istraživali su mogućnost pružanja pristupa Internetu putnicima u zrakoplovu, no većina je propala, bilo zbog tehničke složenosti ili nepostojanja odgovarajućeg poslovnog plana. Nedavno je u predloženo novo telekomunikacijsko rješenje temeljeno na višestrukim radijskim nositeljima koji koriste mobilne i satelitske javne mreže kao alternativa postavljanju namjenske infrastrukture. Provedena je testna kampanja na 300 km željezničke pruge (oko 10.000 km testova) kako bi se ocijenila izvedba mobilnih i satelitskih mreža u željezničkom okruženju. Rezultati u smislu dostižne pouzdanosti veze i kašnjenja od kraja do kraja ohrabruju za usvajanje pristupa javne kopnene mobilne mreže satelita za izvoz ERTMS/ETCS procedura.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom se radu sveobuhvatno razmatraju najsuvremenije bežične komunikacije u pametnim željezničkim prometnim sustavima. Za početak, komunikacijski zahtjevi i scenariji/veze pametnog željezničkog prijevoza definirani su u smislu scenarija vlak-infrastruktura, međuvagon, unutarvagon, unutar stanice i infrastruktura-infrastruktura. Zatim se, s obzirom na kritične komunikacije, razmatra situacija trenutnog GSM-R-a i trend budućeg LTE-R-a, te glavna kritična pitanja—kvaliteta signala na vrhu i unutar vlaka, lančana vrsta mreže-istaknute su za daljnje proučavanje. Štoviše, analiziraju se više potencijalnih rješenja za pružanje nekritičnih, širokopojasnih komunikacija. Potreban je složen projekt za instaliranje mreže unutar vlaka i nekoliko vanjskih mreža koje kombiniraju zemaljske veze u mikrovalnim i mmvalnim pojasima zajedno sa satelitskim vezama.

Za mrežno planiranje, korištenje redundantnih komunikacija ključno je rješenje za jamčenje izvrsne radijske pokrivenosti i pouzdanosti kritičnih komunikacija, dok je postavljanje dvije ili više različitih mreža koje mogu raditi paralelno važno za pružanje nekritične, širokopojasne komunikacije korisnicima. Posljednje, ali ne i najmanje važno, istaknute su neke glavne tehnike za mrežno radijsko planiranje za pametne željezničke transportne sustave, uključujući točan proračun veze korištenjem visokoučinkovitih metoda praćenja zraka, novu shemu primopredaje koja izbjegava vrlo brzo prilagodljivo oblikovanje snopa i nova telekomunikacijska rješenja temeljena na višestrukim radijskim nositeljima koristeći mobilne i satelitske javne mreže.

Kao što je opisano u radu, vlak budućnosti će biti opremljen najsuvremenijim komunikacijama koristeći različite mreže za kritične i nekritične komunikacije. Zahtjevi kritičnih komunikacija su vrlo strog, i trenutno se može ispuniti samo standardnim GSM-R tehnologije i namjenskih sustava, ali u budućnosti, 5G tehnologija će biti valjana alternativa za zamjenu za GSM-R najkritičnije usluge. Zapravo, 5G će ispuniti većinu sadašnji i budući zahtjevi željezničkih usluga s visokim pouzdanost i dostupnost.

S druge strane, nekritične usluge za putnike visoka mobilnost jedna je od ključnih točaka za 5G komunikaciju i mora kombinirati korištenje oba zemaljska i satelitske mreže kako bi se smanjili troškovi postavljanja i poboljšati pouzdanost i dostupnost.

## LITERATURA

1. [https://www.ericsson.hr/documents/20181/87030/Uspostava\\_sustava\\_pokretnih\\_komunikacija\\_za\\_zeljeznice.pdf/816d4714-8174-483c-9c43-6b1196b58487](https://www.ericsson.hr/documents/20181/87030/Uspostava_sustava_pokretnih_komunikacija_za_zeljeznice.pdf/816d4714-8174-483c-9c43-6b1196b58487) (travanj – srpanj 2022.)
2. <https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2017/6802027/> (lipanj – kolovoz 2022.)
3. <https://sci-hub.se/10.23919/EuCAP.2017.7928756> (travanj – srpanj 2022.)
4. <https://www.fpz.unizg.hr/ztos/preddip/Zeljtel.pdf>, (lipanj – srpanj 2022.)
5. [http://tftp-au.com/sites/default/files/TTTP%20-%20Vol-3-Issue-12\\_2018-WEB.pdf#page=5](http://tftp-au.com/sites/default/files/TTTP%20-%20Vol-3-Issue-12_2018-WEB.pdf#page=5), (lipanj – srpanj 2022.)
6. <https://www.edukacije.hr/blog/prodaja-marketing-i-odnosi-s-javnoscu/interna-komunikacija-metode-i-tehnike-komuniciranja/>, (srpanj – kolovoz 2022.)
7. [https://www.fpz.unizg.hr/ztos/PRSUS/GSM\\_R.pdf](https://www.fpz.unizg.hr/ztos/PRSUS/GSM_R.pdf), (svibanj – kolovoz 2022.)
8. <https://www.proquest.com/openview/d489170ea467dab85afb83f503fd8045/1?pqorigsite=scholar&cbl=52938>, (svibanj – srpanj 2022.)
9. <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1109/ComSDS49898.2020.9101245>, (svibanj – srpanj 2022.)
10. <https://sci-hub.se/10.1109/ITSC.2013.6728440>, (lipanj – kolovoz 2022.)
11. [https://www.era.europa.eu/activities/european-rail-traffic-management-system-ertms/radio-communication\\_en](https://www.era.europa.eu/activities/european-rail-traffic-management-system-ertms/radio-communication_en), (travanj – srpanj 2022.)
12. [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/projects/europe/new-railway-communications-system-brings-multiple-benefits](https://ec.europa.eu/regional_policy/en/projects/europe/new-railway-communications-system-brings-multiple-benefits), (travanj – kolovoz 2022.)
13. <https://hrcak.srce.hr/file/377577>, (lipanj – srpanj 2022.)
14. <https://hrcak.srce.hr/file/377579>, (lipanj – srpanj 2022.)

## POPIS SLIKA

Slika 1. Tipična komunikacija na željeznici .....	6
Slika 2. Ac hoc mreža .....	13
Slika 3. Gradska željeznica - Rijeka .....	15
Slika 4. Sustav kontrole i upravljanja vlakomkom .....	17
Slika 5. Signalno sigurnosni uređaj .....	18
Slika 6. Inteligentni teretni vlakovi.....	19
Slika 7. Održavanje željeznice i protoka senzora za dio pruge.....	20
Slika 8. Long term evolution (LTE) željeznice .....	27
Slika 9. Video nadzor.....	29