

PRINCIPIJELNO PROJEKTNO REŠENJE GSM-R SISTEMA U TUNELIMA U SKLOPU MODERNIZACIJE DEONICE BEOGRAD CENTAR – STARA PAZOVA – (NOVI SAD)

Ana Ilić, Jelena Radović, Slaven Tica
Saobraćajni institut CIP d.o.o,
ana.ilic@sicip.co.rs, jelena.radovic@sicip.co.rs, slaven.tica@sicip.co.rs

Rezime: *Magistralna pruga (Beograd Centar) – Stara Pazova – Novi Sad – Subotica – državna granica (Kelebija) kao pruga od velikog nacionalnog i međunarodnog značaja je bila predviđena za modernizaciju. Cilj modernizacije je bio da se ona osposobi kao savremena dvokolosečna pruga za mešoviti saobraćaj i projektovanu brzinu do 200 km/h, a u skladu sa Tehničkim specifikacijama interoperabilnosti (TSI). U sklopu modernizacije pruge uveden je ETCS-L2 kao i GSM-R sistem, te su posledično istim opremljeni i tuneli na deonici Beograd Centar – Stara Pazova – (Novi Sad). U radu će biti prikazano principijelno projektno rešenje opremanja pomenutih tunela GSM-R sistemom.*

Ključne reči: *GSM-R, tunel, redundansa, 200 km/h, radio*

1. Uvod

U sklopu modernizacije magistralne pruge (Beograd) – Stara Pazova – Novi Sad – Subotica – državna granica (Kelebija), planirano je opremanje pruge GSM-R sistemom, između ostalog, prema Uredbama Komisije (EU) o tehničkim specifikacijama interoperabilnosti (TSI). Sistem je namenjen prvenstveno za potrebe funkcionisanja ETCS-L2, za brzine vozova do 200 km/h a zatim i kao sigurna platforma za komunikaciju službenog osoblja. Na deonici Beograd Centar – Stara Pazova – (Novi Sad) nalazila su se tri jednocevna tunela, od kojih su dva zadržana, a treći je napušten i umesto njega je projektovan novi dvocevni tunel. Dužine dva postojeća tunela koja su zadržana su okvirno 0.2 km odnosno 2 km. Novoprotjektovani tunel je dužine okvirno 1 km i on je projektovan u skladu sa TSI-SRT.

U ovom radu će biti prikazano principijelno projektno rešenje opremanja tunela GSM-R sistemom kao i nekoliko fotografija izvedenog stanja. U odnosu na prikazano principijelno rešenje, svaki tunel je imao svoje pojedinosti a dodatno, moguća su odstupanja izvedenog stanja u odnosu na projektovano rešenje. Sama deonica je puštena u rad u martu 2022. godine.

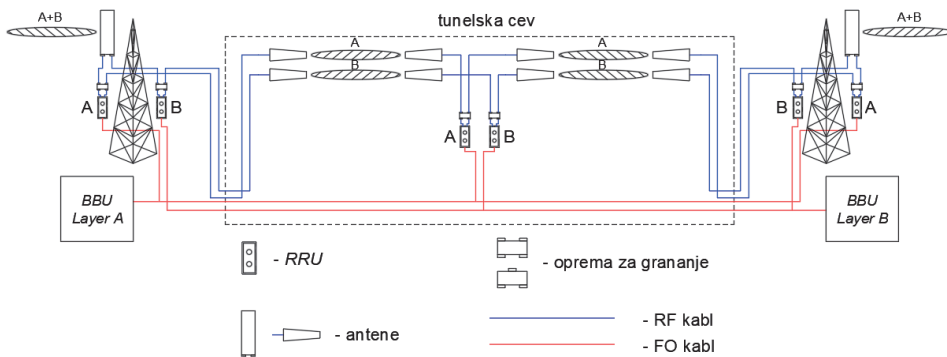
1.1. Spisak skraćenica korišćenih stranih pojmova

GSM-R – *Global System for Mobile Communications – Railway*
TSI – *Technical Specification for Interoperability*

ETCS-L2	– European Train Control System Level 2
EU	– European Union
TSI-SRT	– Safety in the Railway Tunnels TSI
BS	– Base Station
DBS	– Distributed Base Station
BBU	– BaseBand Unit
RRU	– Remote Radio Unit
EIRENE	– European Integrated Railway Enhanced Networks
EIRENE SRS	– EIRENE System Requirement Specification

2. Principijelno projektno rešenje GSM-R sistema u tunelima

Pomenuti tuneli su opremljeni GSM-R sistemom kao integralnim delom GSM-R sistema na celoj deonici, odnosno celoj pruzi. U tom smislu, projektno rešenje opremanja tunela, na prvom mestu, moralo je da zadovolji osnovne zahteve koje je Infrastruktura Železnice Srbije a.d. (IŽS) kroz projektne zadatke (PZ) postavila za sistem u celini. Jedan od tih zahteva je bio da se bazne stanice (BS) duž pruge postave tako da se ostvari redundantno pokrivanje pruge. Kako bi se taj zahtev ispunio odabran je princip rasporeda baznih stanica sa stanovišta redundanse takav, da se na istoj lokaciji postave dve bazne stanice koje će deliti antenski sistem. Na ovaj način, sistem je podeljen u dva nezavisna sloja (*Layer A* i *Layer B*) tako da ispad jednog sloja, odnosno jedne bazne stanice ne utiče na drugi. Sa druge strane, izabrano je rešenje da su u redovnom režimu obe bazne stanice aktivne, te ispadom jedne, sistem nastavlja da funkcioniše, samo sa upola manje kapaciteta. Po ovom principu koji je postavljen za celu deonicu, opremljeni su i tuneli, uz naravno specifične zahteve koji se odnose na tunele. Dodatno, u toku projektovanja dvocevnog tunela, vodilo se računa da cevi budu nezavisne u tom smislu da eventualni incident ili kvar opreme u jednoj tunelskoj cevi ne prekine rad opreme u drugoj tunelskoj cevi.



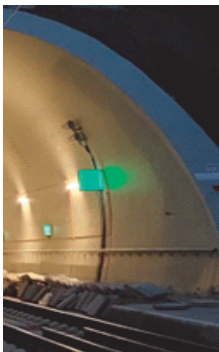
Slika 1. Blok šema pokrivanja tunela – principijelni prikaz rešenja

Za pokrivanje tunela, odnosno tunelskog kompleksa odabrano je da se koriste distribuirane bazne stanice (DBS). Za razliku od klasične bazne stanice, DBS je napravljena tako da dozvoljava da se radio jedinice bazne stanice postave na drugu lokaciju u odnosu na ostatak bazne stanice. U principu, oprema je raspoređena tako da je procesna jedinica (BBU) DBS-a jednog sloja (*Layer A*) postavljena sa jedne strane tunela

a drugog sloja (*Layer B*) sa druge strane. Radio jedinice (*RRU*) oba sloja, u paru, su postavljene tako da, sa pripadajućim antenama, pokriju tunelski kompleks. Recimo, jedno od rešenja je bilo da se postave na antenskim stubovima u blizini portala tunela i na određenom rastojanju unutar tunelske cevi, na zid tunela (slika 1).

Na ovakav način je omogućeno da tunelski kompleks kao lokacija čini jednu celinu i da se uklopi u način pokrivanja ostatka deonice. Na slici 1 je dat pojednostavljeni principijelni prikaz projektnog rešenja pokrivanja jedne cevi tunela i okoline. Rešenje svakog pojedinačnog tunela je imalo svoje pojedinosti. Na primer, izuzetak iz navedenog pravila je najkraći tunel, gde su *BBU*-ovi postavljeni sa jedne strane tunela i on ne čini samostalnu celinu već pripada jednoj od lokacija.

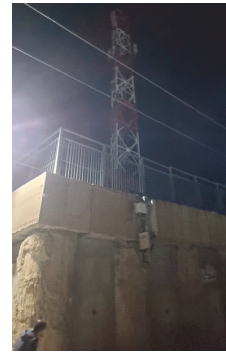
Za pokrivanje tunelskih cevi planirane su *yagi* antene postavljene na oko 6 m iznad trase pruge. Za pokrivanje pruge van tunelskih cevi planirane su panel antene postavljene na oko 30 m iznad trase pruge (slike 2, 3, 4).



Slika 2. Antene na ulasku u tunelsku cev

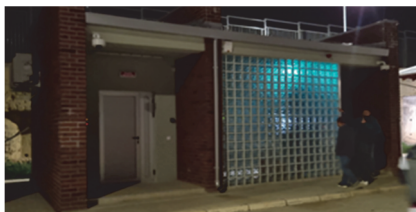


Slika 3. RRU-ovi i pripadajuće antene u tunelu



Slika 4. Antenski stub u blizini portala tunela

BBU jedinice su postavljane u zidane objekte (postojeći ili namenski pravljeni) u neposrednoj blizini tunelskih portala (slika 5).



Slika 5. Primer namenski zidanog objekta u blizini tunela

3. Proračun pokrivanja u tunelskim cevima

Da bi se obezbedilo funkcionisanje *ETCS-L2*, radio planiranjem je određen raspored baznih stanica tako da se na prvom mestu obezbedi nivo signala propisan dokumentom *EIRENE SRS 16.0.0*, odnosno za ovaj konkretan projekat: verovatnoća pokrivanja od 95% na osnovu nivoa pokrivanja od -95 dBm za *ETCS-L2*, za brzine voza do 220 km/h. Za govorni saobraćaj zahtevana je verovatnoća pokrivanja od 95% na

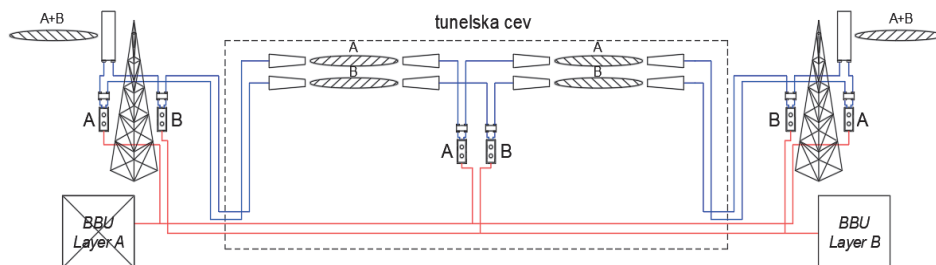
osnovu nivoa pokrivanja od -98 dBm. U pomenutom dokumentu (tačka 3.2.1 dela 3 *Network configuration, 3.2 Coverage*), nivo pokrivanja (*coverage level*) je definisan kao snaga polja na ulazu u antenu voza (na visini od 4m iznad trase pruge).

Raspored baznih stanica duž pruge (van tunelskih cevi) je određen uz pomoć alata za radio planiranje koji je koristio *Okumura – Hata* propagacioni model prilagođen za planiranje sistema koji se koristi na železnici (uzeti su u obzir propagacioni uslovi koji se mogu naći u okolini železničke pruge). Pokrivanje unutar tunela je određeno na osnovu budžeta linka, korišćenjem odgovarajuće formule koja je dobijena od renomiranog proizvođača *GSM-R* opreme. Rezultati su poslužili da bi se procenila pozicija opreme za postavljanje u tunelu a posledično i sama količina.

4. Analiza otkaza procesne jedinice *DBS*-a jednog sloja

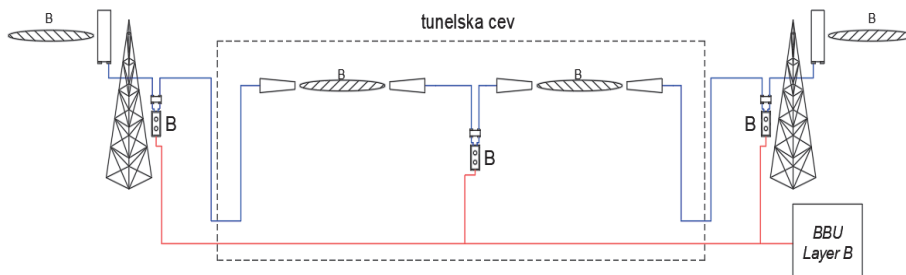
Kao što je ranije rečeno, kada je u pitanju količina i raspored opreme *GSM-R* sistema, postavljen je osnovni zahtev da se ostvari redundansa u pokrivanju cele trase pruge. Ovo se odnosi i na same tunele.

Na ovom primeru će biti prikazano šta se dešava sa sistemom u tunelu ako dodje do kvara ili prestanka napajanja *BBU* jedinice *DBS*-a sloja A (slika 6).

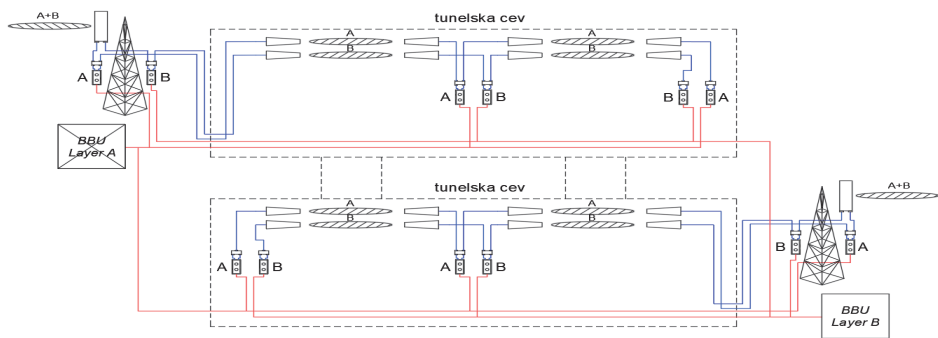


Slika 6. Primer – otkaz *BBU* jedinice jedne *DBS* – jedna cev

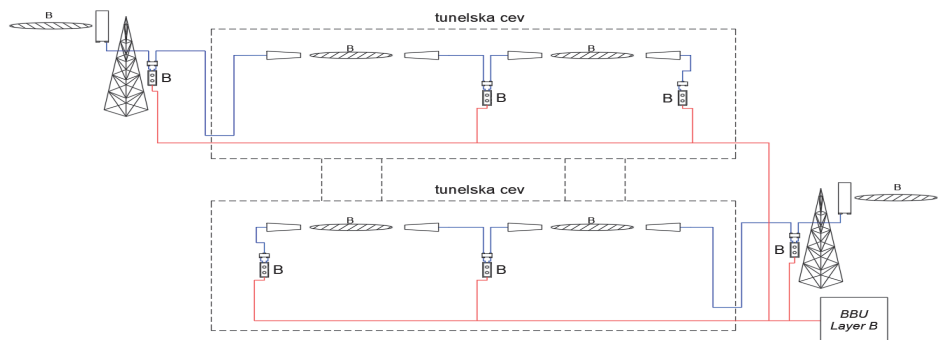
Sa slike 7 se vidi, da ukoliko dodje do prekida rada *BBU* jedinice *DBS*-a sloja A, sistem nastavlja da radi, sa upola manje kapaciteta. Na slikama 8 i 9 je dat prikaz kada je u pitanju dvocevni tunel.



Slika 7. Primer – otkaz *BBU* jedinice jedne *DBS* – jedna cev – posledica



Slika 8. Primer – otkaz BBU jedne DBS – dve cevi



Slika 9. Primer – otkaz BBU jedne DBS – dve cevi – posledica

5. Dodatni načini zaštite sistema

Kada se projektuju sistemi u tunelu, postoje i druge mere koje mogu da se preduzmu da bi se isti zaštitili što bolje. Optimalan izbor mera zavisi od dužine i izgleda tunela, zahteva spram konkretnog sistema u konkretnom tunelu i od realnih mogućnosti (na primer, mogu da postoje građevinska ograničenja ako su u pitanju postojeći tuneli i sl.).

Recimo, kablovi koji se prostiru dužinski kroz tunelske cevi (a ne moraju biti izloženi) mogu se postaviti u kanale duž trase pruge koji su požarno izdvojeni od tunelske cevi. Ukoliko je moguće, koristi se povezivanje opreme u prsten. Takođe, gde god je moguće, a ima smisla, kablovi se vode odvojenim trasama. Vodi se računa da se oprema i kablovi u tunelskim cevima postave tako da je najmanja verovatnoća da budu oštećeni ukoliko dođe do iskliznuća voza. Ukoliko je moguće, izbegava se postavljanje opreme unutar tunelskih cevi i sl.

Pored cilja da se postigne zahtevani nivo signala, u određenim slučajevima može da se omogući preklapanje radio pokrivanja susednih lokacija (antene ili antene i pripadajuće udaljene radio jedinice) u tunelskoj cevi. Ovo se radi sa ciljem da ukoliko neki incident u tunelskoj cevi (na primer iskliznuće voza, požar) ošteti jednu lokaciju ili kablove u nekom delu, ili ako dođe do kvara ili nestanka napajanja, sistem ima šanse da nastavi da radi, Ovo za posledicu ima to što se koristi veća količina opreme (gušći raspored).

Ovo je samo nekoliko primera, kao što je rečeno ranije, optimalno rešenje zavisi od zahteva spram konkretnog slučaja, zahteva i realnih mogućnosti.

6. Zaključak

Celokupan projekat modernizacije pruge je bio izuzetno kompleksan i zahtevan kako sa stanovišta projektovanja tako i sa stanovišta izvođenja radova. Uprkos svim izazovima koji su uspešno savladani (u čemu je Saobraćajni insituit CIP dao veliki doprinos) deonica Beograd Centar – Stara Pazova – (Novi Sad) je pušena u rad u martu 2022. godine. Dobile su relevantne saglasnosti u skladu sa zakonskom regulativom RS. Takođe, dobijene su i zahtevane saglasnosti inostranih učesnika u poslu.

Kompanija Rikardo iz Holandije je bila angažovana kao NoBo na ovom projektu. SI CIP je takođe učestvovao u procesu sertifikacije u delu koji se odnosio na projektovanje. Proces sertifikacije strukturnih podsistema je završen i dobijeni su sertifikati o ispunjavanju zahteva iz TSI.

Rad na ovom projektu je pokazao da optimalno rešenje sistema, pa i sistema u tunelima, u velikoj meri zavisi od zahteva koje postavlja saobraćajna tehnologija. Dodatno, rešenje sistema u tunelima, zavisi od generalnog koncepta bezbednosti tunela kao celine. Ovo važi kako sa stanovišta incidenata koji potiču od železničkog saobraćaja kao tehnološkog procesa tako i sa stanovišta zaštite od požara tunela.

Literatura

- [1] A. Ilić, Projekat za izvođenje, Modernizacija pruge Beograd – Subotica – državna granica (Kelebija), deonica pruge Beograd – Stara Pazova, 5/3.16.1-4 Opremanje pruge radio sistemima, Saobraćajni Institut CIP, 2019.
- [2] A. Ilić, Projekat za izvođenje, Rekonstrukcija i izgradnja dvokolosečne pruge (Beograd) – Stara Pazova – Novi Sad – Subotica – državna granica; faza: Elektrotehnička infrastruktura za brzine saobraćaja vozova do 200 km/h, deonica Stara Pazova – Novi Sad, 5/3.4.1-4 Radio sistemi, Saobraćajni Institut CIP, 2021.

Abstract: *The main railway line (Belgrade Center) – Stara Pazova – Novi Sad – Subotica – state border (Kelebia) as a line of great national and international importance was scheduled for modernization. The goal of the modernization was to make it a modern two-track railway for mixed traffic and a design speed of up to 200 km/h, in accordance with the Technical Specifications for Interoperability (TSI). As part of the modernization, ETCS-L2 and GSM-R were introduced on the line and consequently, the tunnels on the section Belgrade Center – Stara Pazova – (Novi Sad) were also equipped. The paper will present a principled design solution for GSM-R system in the aftermentioned tunnels.*

Keywords: *GSM-R, tunnel, redundance, 200 km/h, radio*

PRINCIPLED DESIGN SOLUTION OF GSM-R SYSTEM IN TUNNELS AS PART OF THE MODERNIZATION OF THE SECTION BELGRADE CENTER - STARA PAZOVA - (NOVI SAD)

Ana Ilić, Jelena Radović, Slaven Tica