

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954752/POSTEL.2023.017>

PROJEKTOVANJE ELEKTRONSKE KOMUNIKACIONE MREŽE U FUNKCIJI BEZBEDNOSTI DRUMSKIH TUNELA

Dragan Đorđević, Miloš Končar, Periša Prokopijević, Aleksandar Dželetović
Saobraćajni Institut – CIP d.o.o,
dragan.djordjevic@sicip.co.rs, milos.koncar@sicip.co.rs,
perisa.prokopijevic@sicip.co.rs, aleksandar.dzeletovic@sicip.co.rs

Rezime: *Bezbednost korišćenja drumskih tunela predstavlja kritično pitanje jer tuneli mogu biti opasna mesta u slučaju saobraćajne nesreće ili požara. Tunelski telekomunikacioni sistemi (TK) kao što su alarmna (SOS) telefonija, automatska dojava požara, video nadzor opšte i specijalne namene, sistem razglasa, upravljanje promenjivom saobraćajnom signalizacijom i drugi, značajno doprinose smanjenju rizika u radu tunela. Okosnicu ovih raznorodnih TK sistema predstavlja tunelska elektronska komunikaciona mreža (EKM), koja mora da obezbedi brzu, pouzdanu i bezbednu komunikaciju između TK sistema unutar tunela i lokalnog tunelskog operativnog centra (TOC), kao i da omogući sistemsku integraciju u Inteligentne transportne sisteme (ITS). U ovom radu će biti analizirane osnovne karakteristike tunelske EKM bazirane na optičkom kablju kao medijumu, kroz primer autoputskog tunela projektovanog u Republici Srbiji.*

Ključne reči: *bezbednost tunela, tunelski telekomunikacioni sistemi, tunelska elektronska komunikaciona mreža, inteligentni transportni sistemi.*

1. Uvod

Ubrzanu izgradnju nove i rekonstrukciju postojeće drumske infrastrukture u Republici Srbiji poslednjih godina prati i parcijalna (fazna) implementacija inteligentnog transportnog sistema (ITS) sa ciljem da se obezbedi efikasnije, mobilnije i bezbednije odvijanje saobraćaja.

Neke od ključnih funkcionalnosti koje ITS-a treba da obezbedi su: prikupljanje i prenos podataka o saobraćaju, upravljanje i unapređenje bezbednosti saobraćaja, sistemski interoperabilnost itd.

Komunikaciono-informacioni podsistemi u sklopu ITS-a koji se implementiraju su:

- Sistem za detekciju saobraćaja (automatski brojači saobraćaja);
- Sistem za akviziciju meteoroloških podataka;
- Sistem znakova sa izmenljivim sadržajem poruka;
- Sistem video nadzora opšte namene;

- Sistem video nadzora posebne namene (automatska detekcija incidenata, sistem za kontrolu kretanja vozila u suprotnom smeru, sistem za detekciju vangabaritnih vozila);
- Sistem nadzora i kontrole nad javnim osvetljenjem;
- Komunikaciona infrastruktura;
- Energetska infrastruktura;
- Tunelski sistemi.

Ovi podsistemi rade po različitim upravljačkim i telekomunikacionim tehnologijama, a osnovna funkcija im je obezbeđenje operativnog upravljanja i kontrola saobraćaja. Integracija ITS podsistema vrši se preko centralnog sistema za nadzor i upravljanje (CSNU).

U cilju integracije u jedinstvenu ITS platformu, oprema svakog podsistema mora da podržava komunikacione protokole i standarde. Mogući režimi (mod-ovi) rada ITS-a su: autonomni, poluautonomni, ručni i servisni [1]. Hijerarhija upravljanja ITS organizovana je na sledeći način:

- *Prvi nivo* upravljanja je lokalno automatski u predefinisanoj režimu rada.
- *Drugi nivo* je upravljanje od strane operatera preko grafičkog korisničkog interfejsa (SCADA) sa lokalne upravljačke stanice (locirane u tunelskom operativnom centru – TOC)
- *Treći nivo* upravljanja je daljinsko upravljanje iz regionalnih centara u kojima je integrisano više lokalnih upravljačkih stanica.
- *Četvrti nivo* je Republički centar za upravljanje saobraćajem koji integriše sve Regionalne centre.[1]

Kao glavni komunikacioni medijum ITS-a duž trase državnih puteva IA reda polaže se monomodni optički kabl (144 vlakna) sa potrebnom kablovskom kanalizacijom i privodima ka planiranim elementima ITS-a.

Tuneli, kao delovi drumske infrastrukture, spadaju u rizična mesta na kojima postoji mogućnost nastanka saobraćajne nesreće ili požara. U tom smislu, pri građenju tunela primenjuje se niz sigurnosnih, tehnoloških i organizacionih rešenja u cilju smanjenja rizika odnosno povećanja bezbednosti u tunelu (kao što su npr. evakuacioni prolazi, sistem alarmne (SOS) telefonije, sistem ventilacije, sistem i/ili oprema za gašenje požara, adaptibilno osvetljenje, označavanje, upravljanje saobraćajem i drugo. Takođe, tunelski telekomunikacioni sistemi (TK) značajno doprinose smanjenju rizika u radu tunela. Nivo opremanja tunela TK sistemima određuje se procenom rizika i u skladu sa smernicama definisanim u važećim preporukama RABT (*Regulations for the equipment and operation of road tunnels*).

2. Elektronska Komunikaciona Mreža (EKM) u drumskom tunelu

Okosnicu tunelskih TK sistema predstavlja tunelska elektronska komunikaciona mreža (EKM), koja mora da obezbedi brzu, pouzdanu i bezbednu komunikaciju između sistema unutar tunela i lokalnog tunelskog operativnog centra (TOC). Takođe, treba da omogući i sistemsku integraciju u ITS. Tip arhitekture EKM koji se u praksi primenjuje u drumskim tunelima je *Ethernet TCP/IP*. S tim u vezi, sve komponente sistema povezane na tunelsku EKM moraju da budu *Ethernet TCP/IP* kompatibilne. Okosnica *Ethernet* mreže formira se upotrebom optičkih vlakana (*EoF-Ethernet Over Fibers*).

Prednosti *EoF* tehnologije su:

- velika brzina prenosa podataka (>40Gb/s),
- veliko premostivo rastojanje (>100km),

- redundantnost - omogućava prstenasto formiranje mreže i tako obezbeđuje redundansu, što je od suštinskog značaja za primenu u rizičnim objektima kao što su putni tuneli,
- otpornost na elektromagnetne uticaje (EMI/RFI): upotreba optičkih vlakana eliminiše uticaje koji su često prisutni u tradicionalnim *Ethernet* mrežama zasnovanim na bakru, obezbeđujući pouzdan prenos podataka,
- otvoreni standardni protokoli: ovi protokoli omogućavaju laku integraciju sa drugim podsistemima i sistemima u tunelu (npr.: TLS, Modbus, Modbus/TCP, IEC 61508 – SIL3, IEC 62443, IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104, IEC 61850, OPC, SSI, SNMP, Ethernet IP, DATEX II, SIP, VoIP i dr.).

Kao što je navedeno, EKM tunela se formira u topologiju prstena što je najpovoljnije sa stanovišta redundanse. Mrežni svičevi se biraju sa dva ugrađena porta za monomodna optička vlakna i time omogućavaju redundantno umrežavanje protokolom RSTP (*Rapid Spanning Tree*). Pošto su svičevi sa dve strane povezani na vlakna optičkog prstena, prekid optičke veze u jednom pravcu neće uticati na rad sviča, pošto će se sistem ponovo konfigurisati na alternativni prenosni put. Ako je jedan od svičeva neispravan, to neće uticati na funkcionisanje drugih svičeva u mrežnoj petlji. Primer topologije prikazan je na slici 1. Prilikom projektovanja treba imati u vidu karakteristike savremenih računarskih (*Ethernet*) mreža:

- pristupna brzina klijentskih uređaja 1Gb/s,
- komunikacija između mrežnih čvorišta 10Gb/s,
- brzina komunikacije čvorišta sa serverima 10-40Gb/s,
- mogućnosti segmentiranja i upravljanja saobraćajem po više kriterijuma,
- mogućnost daljinskog nadziranja i konfigurisanja mrežne opreme,
- mogućnost postojanja rezervnih putanja između čvorišta sa automatskim odabirom najbolje putanje,
- mogućnost povezivanja lokalne mreže sa lokalnom mrežom na udaljenoj lokaciji (VPN),
- mogućnost jednostavnog proširivanja kapaciteta mreže.

Prilikom projektovanja EKM mora se uzeti u obzir i postojeće stanje IT sistema, trenutne realne potrebe i procena rasta IT sistema kako po pitanju servisa, tako i po broju korisnika. Na osnovu ovih činjenica moguće je odrediti adekvatnu tehnologiju i opremu.

Bitne stavke prilikom projektovanja EKM su:

- procena broja priključnih mesta,
- procena optimalnih trasa kablova od čvorišta do priključnih mesta uzimajući u obzir postojanje potencijalnih smetnji na trasi,
- optimalna procena tipa pasivne opreme koja će obezbediti očekivane performanse,
- procena potrebnih brzina između čvorišta i tehnologija za njihovu realizaciju,
- redundantne veze između čvorišta,
- bezbedan prolaz između mreža kao i između lokalne računarske mreže i servera na internetu.

3. Projekat EKM tunela

U narednom tekstu prikazaćemo konkretan primer realizacije elektronske komunikacione mreže kroz pojednostavljen projekat za izvođenje TK sistema tunela „Lipak“ [3]. Kroz tehnički opis projekta ćemo dati osnovne informacije o položaju i arhitekturi tunela i

predviđenim tunelskim TK sistemima. Opisaćemo konstrukciju EKM kroz izbor aktivne i pasivne opreme i izbor spojnih puteva. Pojednostavljeni grafički prikaz topologije, rasporeda i povezivanja opreme EKM dat je na slici 1.

Tunel „Lipak“ nalazi se na transevropskom koridoru (Koridor 10) autoputa E-75 tj. na južnoj obilaznici Beograda, na stacionaži km 578+505 - km 579+170. Objekat se sastoji od dve tunelske cevi sa po dve vozne trake i jednom zaustavnom trakom:

- Desna tunelska cev: L= 665,00m
- Leva tunelska cev: L= 600,00m

Tunelske cevi su međusobno povezane prolazima. Postoje dva prolaza isključivo za pešake. Duž tunelskih cevi predviđene su tunelske niše i to: sa desne strane tunelske cevi u smeru vožnje niše za uzbunjivanje (SOS), dok se hidrantske niše nalaze sa leve strane tunelskih cevi. Elektroenergetske (EN) se nalaze na istoj strani kao i SOS niše. U svakoj tunelskoj cevi predviđeno je po pet SOS niša (sa telekomunikacionom, energetsom i opremom automatike), po dve EN niše (za energetska opremu i automatiku) i po pet hidrantskih niša (sa hidrantom, koturom sa crevom i mlaznicom).

U sklopu svake SOS niše predviđen je prostor za smeštaj prenosnih aparata za gašenje požara, SOS telefona, ručnog i automatskog javljača požara. Ovaj prostor je sa posebnim ulaznim vratima i omogućava nezavisan pristup iz tunelske cevi. Na ulazima u prolaze za pešake između tunelskih cevi predviđena su vrata sa mehanizmom koji ih uvek drži u zatvorenom ali odbravljenom stanju.

U tunelskim cevima, sa obe strane ispod pešačkih staza (prinudni putevi za evakuaciju), predviđeni su kablovski kanali u kojima se nalaze kablovski nosači/regali, pokriven betonskim pločama i presvučen tankim slojem asfalta. Ovi regali su namenjeni za polaganje energetske i telekomunikacione kablove, koji služe za napajanje i upravljanje tehničkim sistemima u tunelu. Predviđeno je da se poprečne veze kablovskih kanala u tunelskim cevima realizuju su PVC cevima postavljenim ispod kolovoza i kablovskom kanalizacijom ispred ulazno-izlaznih portala.

Na izlazu leve tunelske cevi, sa desne strane u smeru vožnje, nalazi se objekat pogonske stanice (PS) „Lipak“ u kojem je smeštena transformatorska stanica, UPS sistem, dizel agregat, prostorija za smeštaj opreme telekomunikacionih sistema kao i prostorija za lokalni nadzor. Tunelski operativni centar za nadzor deonice (pa i za tunel „Lipak“) predviđen je na lokaciji Petlovo brdo u sklopu postojećeg objekta JP „Putevi Srbije“.

Tunel je, s obzirom na specifičnost odvijanja saobraćaja, opremljen sa sistemima i instalacijama koje su neophodne za visok nivo bezbednosti. Najveći broj predviđenih sistema i instalacija se tretiraju kao sistemi čija se funkcionalnost mora obezbediti, kako u redovnim okolnostima, tako i u svim vanrednim situacijama od kojih je pojava požara najkritičnija.

Projektom su obuhvaćeni sledeći telekomunikacioni i signalni sistemi:

- SOS interfonski sistem (alarmna telefonija),
- Sistem razglasa (*VA-voice alarm system*),
- Stabilni sistem za dojavu požara,
- Video nadzor opšte i posebne namene (*AID- Automatic Incident Detection*)
- Sistem detekcije provale,
- Sistem kontrole pristupa,
- Sistem za akviziciju meteoroloških podataka,
- Sistem kontrole kvaliteta, brzine i smera strujanja vazduha,
- EKM - Elektronska Komunikaciona Mreža – sistem kablova i aktivne opreme (predmet ovog rada) kao komunikaciona okosnica svih tunelskih TK sistema.

Elektronska komunikaciona mreža predstavlja osnovu za pouzdan rad, integraciju i interakciju svih sigurnosnih, upravljačkih i nadzornih sistema na nivou tunela. U tom smislu komunikaciona mreža tunela će biti realizovana na način da svi elementi navedenih sistema u svakom trenutku budu dostupni informacionom sistemu kako na lokalnom nivou (autonomni radni mod) tako i na nivou tunelskog operativnog centra (daljinski nadzor i upravljanje).

Komunikaciona mreža sastoji se od dve paralelne mrežne infrastrukture koje formiraju mrežni elementi (Ethernet svičevi) raspoređeni u topologiju prstena, a sama komunikacija između svih elementa je bazirana na TCP/IP prenosu. Prva mreža integriše (na nivou prenosa podataka) sve sisteme koji omogućavaju autonomni radni mod tunela i kratko će se zvati mreža "Upravljanje". Druga mreža služi samo za prenos podataka (stream-ova) sistema video nadzora i kratko će se zvati mreža "Video". Video saobraćaj zauzima znatno više resursa propusnog opsega u poređenju sa drugim telekomunikacionim sistemima pa se zbog toga odvaja u posebnu mrežu, kako video servisi ne bi zagušili ostale, vitalnije sisteme bitne za autonomni radni mod tunela. Ethernet svičevi će biti smešteni u ormanima automatskog upravljanja - OA u svim SOS nišama, prostoriji za smeštaj komunikacione opreme u pogonskoj stanici tunela (TOC) i komandno-operativnom centru (KOC). Propusni opseg obe mreže na lokalnom nivou tunela je 1Gb/s. Povezivanje i interakcija ove dve mreže za potrebe Centralnog sistema za nadzor i upravljanje (CSNU) vrši se u pogonskoj stanici (TOC) putem posredničkih svičeva sa Layer 3 funkcionalnošću.

U fizičkom smislu osnovna komunikaciona infrastruktura realizovana je optičkim kablovima sa 12 monomodnih optičkih vlakana 9/125 μ m. Predviđena je struktura u obliku optičkog prstena kojom je obezbeđena redundantna veza. U slučaju prekida optičkog kabla svi sistemi će i dalje biti u funkciji. Monomodni optički kabl se od pogonske stanice polaže u kablovskoj kanalizaciji do kanala za vođenje instalacija u levoj tunelskoj cevi. Zatim se kroz kablovski kanal u levoj cevi kabl vodi do svake SOS niše, gde se završava na optičkom razdelniku odgovarajućeg kapaciteta. Na kraju leve cevi optički kabl kroz poprečnu vezu ispred tunela prelazi u kablovski kanal u desnoj tunelskoj cevi i nastavlja dalje do svake SOS niše u desnoj cevi. Iz desne tunelske cevi kabl se kroz kablovsku kanalizaciju vraća nazad do pogonske stanice (slika 1). Za završavanje kabla u objektu pogonske stanice predviđeni su optički razdelnički (patch) paneli sa 24 SC konektora. Oprema je predviđena za montažu na 19" ram u SKS ormanu (reku). Za završavanje kabla u SOS nišama predviđeni su optički patch paneli sa 12 SC duplex konektora. Oprema je predviđena za montažu na DIN šinu unutar ormara automatskog upravljanja – OA u sklopu SOS niše. Planirano je da se 12 dolaznih i 12 odlaznih vlakana završava na optičkom panelu.

Plan korišćenja vlakana:

- vlakna 1 i 2 – povezivanje mrežne opreme na koju se spajaju: svi TK sistemi osim video nadzora, saobraćajno informacioni sistem (obe tunelske cevi),
- vlakna 3 i 4 – povezivanje mrežne opreme na koju se spaja video nadzor (obe cevi),
- vlakna 5 i 6 – rezerva u svakoj SOS niši (obe tunelske cevi),
- vlakna 7 i 8 – sistem razglasa (veza kontrolera i pojačavača u tunelu, obe cevi),
- vlakna 9 i 10 – rezerva,
- vlakna 11 i 12 – rezerva.

U glavnom tunelskom telekomunikacionom čvorištu (lociranom u sklopu pogonske stanice gde je formiran tunelski operativni centar TOC) instaliraju se četiri centralna sviča (dva za mrežu upravljanja i dva za video mrežu) sledećih karakteristika:

- Upravljivi svič, montaža u 19" rek orman,
- Portovi: (24) 10/100/1000Base-T + (4) 100/1000Base-X SFP + (4) 1G/10GBase-X SFP,
- L2/L3 funkcionalnost,
- IPv4/IPv6 protokoli,
- Standardi iz grupe IEEE 802.3--,
- Podrška za: IGMP multicast; SNMP i Web menadžment mreže; MSTP, RSTP i STP Spanning Tree protokole; VLAN; Port Trunking; Routing protokole (OSPF); DHCP i Autentifikaciju.

U svakoj SOS niši, instaliraju se dva sviča (jedan za mrežu upravljanja i jedan za video mrežu), sledećih karakteristika:

- Upravljivi svič, DIN montaža,
- Portovi: (7) 10/100Base-TX + (3) 100/1000Base-X SFP/RJ-45 Combo,
- L2 funkcionalnost,
- IPv4/IPv6 protokoli,
- Standardi: iz grupe IEEE 802.3—,
- Podrška za: IGMP multicast; SNMP i Web menadžment mreže; MSTP, RSTP i STP Spanning Tree protokole; VLAN; Port Trunking; Routing protokole (OSPF); DHCP i Autentifikaciju.

Procena potrebne brzine protoka

Za proračun procene potrebne brzine protoka EKM korišćena je specijalizovana softverska aplikacija za tu svrhu, a sistem video nadzora uzet je kao referentni jer je najzahtevniji u tom smislu.

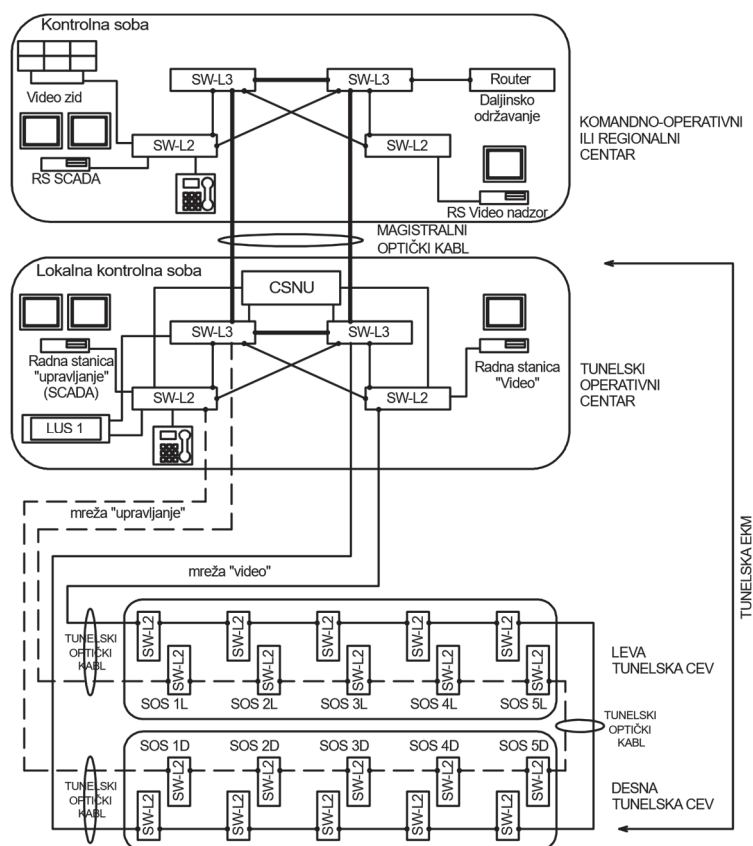
<p>Očekivana veličina strim-a po fiksnoj AID kameri:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Video nadzor: 6,5Mb/s, - Video zid: 2,6Mb/s, - AID: 2,6Mb/s, - Ukupno: 11,7 Mb/s, <p>Ukupno 22 AID kamere: 257,4 Mb/s.</p>	<p>Očekivana veličina strim-a po PTZ kameri:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Video nadzor: 6,5Mb/s, - Video zid: 2,6Mb/s, - Ukupno: 9,1 Mb/s, <p>Ukupno 10 PTZ kamera za nadzor: 91 Mb/s</p>
<p>Očekivana veličina strim-a po fiksnoj kameri:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Video nadzor: 6,5Mb/s, - Video zid: 2,6Mb/s, - Ukupno: 9,1 Mb/s, <p>Ukupno 5 fiksni kamera za nadzor: 45,5 Mb/s.</p>	<p>Ukupno: 257,4 + 45,5 + 91 = 393,9 Mb/s = 0,3939 Gb/s.</p>

Dakle, projektovani kapacitet video mreže od 1 Gb/s je dovoljan za nesmetan rad video sistema [3].

4. Topologija EKM, integracija tunelskih sistema

U glavnom telekomunikacionom čvorištu tunela - TOC-u, pored operatorskih stanica tunelskih sistema, nalaze se CSNU i lokalna upravljačka stanica - LUS. CSNU objedinjuje: server SOS interfonskog sistema, video menadžment server, video server za automatsku detekciju incidenata i komponente za arhiviranje podataka sistema; LUS (centralni kontroler automatskog upravljanja) integriše signale svih tunelskih sistema na jednom mestu i omogućava njihovu međusobnu interakciju. Preko LUS-a se ostvaruje lokalno ručno i lokalno automatsko upravljanje tunelom, a takođe i prosleđuju informacije ka CSNU. Elementi svih sistema povezuju se na centralni kontroler kao krajnji IP bazirani uređaj putem *Ethernet* svičeva u jedinstvenu mrežnu infrastrukturu. Većina elemenata je IP bazirana pa se direktno povezuje na *Ethernet* svičeve, dok se deo elemenata i signala povezuje na analogne i digitalne ulaze/izlaze posredničkih distributivnih kontrolera/modula koji takođe imaju IP baziranu vezu sa *Ethernet* svičevima [4].

U okviru komandno operativnog centra (KOC) „Petlovo brdo“ za nadzor i upravljanje više tunela, pored operatorskih stanica tunelskih sistema predviđen je i *Router/Firewall* uređaj za pristup tunelskim sistemima sa udaljene lokacije [4].



Slika 1. Topologija i povezivanje opreme tunelske komunikacione mreže

5. Zaključak

Sistemi za praćenje, detekciju i upravljanje spadaju u ključne faktore efikasnog upravljanja saobraćajem i bezbednosti putnika i osoblja u drumskim tunelima. Stoga je kvalitet komunikacione mreže kao okosnice ovih sistema veoma značajan za njihov efikasan i pouzdan rad. U tom smislu potrebno je projektovati i implementirati savremena, fleksibilna i ekonomična rešenja EKM. *Ethernet* TCP/IP mrežna arhitektura preko optičkih vlakana nudi velike brzine prenosa podataka, otpornost na elektromagnetne uticaje i otvorene standardne protokole. Time se obezbeđuje pouzdano i fleksibilno povezivanje tunelskih sistema, ostvaruje mogućnost proširenja novim servisima i omogućava relativno jednostavna integracija u hijerarhiju ITS-a.

Literatura

- [1] "Koncept razvoja inteligentnih transportnih sistema na mreži državnih puteva Republike Srbije -predlog-", JP "Putevi Srbije" Beograd 2020.,
- [2] RABT 2006. Regulations For The Equipment and Operation of Road Tunnels,
- [3] 5 /1. Projekat telekomunikacionih sistema tunela „Lipak“-Saobraćajni Institut CIP – Beograd 2020.
- [4] 4 /5. Projekat automatskog upravljanja i centralnog sistema za nadzor i upravljanje tunela „Lipak“-Saobraćajni Institut CIP – Beograd 2020.

Summary: *The safety of using road tunnels is a critical issue because tunnels can be dangerous places in the event of a traffic accident or fire. Tunnel telecommunication systems (TC) such as alarm telephony, automatic fire alarm, video surveillance for general and special purposes, public address system, management of variable traffic signals and others, significantly contribute to the reduction of risks in the operation of tunnels. The backbone of these diverse TK systems is the tunnel electronic communication network (ECM), which must provide fast, reliable, and secure communication between the TK system inside the tunnel and the local tunnel operation center (TOC), as well as enable system integration in ITS. This paper will analyze the basic characteristics of tunnel EKM based on optical cable as a medium, through the example of a highway tunnel designed in the Republic of Serbia.*

Keywords: *tunnel safety, tunnel telecommunication systems, tunnel electronic communication network, intelligent transport systems.*

DESIGNING AN ELECTRONIC COMMUNICATION NETWORK IN THE SERVICE OF ROAD TUNNELS SAFETY

Dragan Đorđević, Miloš Končar, Periša Prokopijević, Aleksandar Dželetović