

# Sustavi za upravljanje prometom u tunelima

---

Huzjan, Petra

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:083635>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-12**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Petra Huzjan**

**SUSTAVI ZA UPRAVLJANJE PROMETOM U  
TUNELIMA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb 2016.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**SUSTAVI ZA UPRAVLJANJE PROMETA U  
TUNELIMA**

**TRAFFIC CONTROL SYSTEMS IN TUNNELS**

Mentor: Prof. dr. sc. Anđelko Ščukanec  
Student: Petra Huzjan , 0135219256

**Zagreb, ožujak 2016.**

## SAŽETAK

Sigurnost prometa na cestama jedan je od najvažnijih problema današnjice. Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije, u svijetu na cestama godišnje pogiba oko 1.240.000 ljudi, što je više nego u svim ratovima koji se trenutno vode u svijetu zajedno. Glavna tri čimbenika u sustavu sigurnosti prometa su čovjek, vozilo i infrastruktura (cesta), čiji su sastavni dio i tuneli. Iako je udio prometnih nesreća u tunelima proporcionalan dužinskom udjelu tunela na cestama, zbog specifičnosti tunela, slične prometne nesreće u tunelima mogu imati značajno teže posljedice nego ukoliko se dogode na otvorenim dijelovima ceste. Ovo se posebice odnosi na one prometne nesreće koje rezultiraju požarom, rasipanjem opasnih tvari, a uvažavajući tunel kao zatvoreni prostor gdje dim može biti koban, za razliku od otvorenih dionica cesta. Stoga cestovni tuneli, kao najizazovniji dio sigurnosnog čimbenika „infrastruktura/cesta“, zahtijevaju poseban pristup, od zakonske regulative vezane za cestovnu infrastrukturu, projektiranja, izgradnje pa do upravljanja prometom.

Ključne riječi: *tuneli, sigurnost prometa, sustavi za upravljanje prometom*

## SUMMARY

Road safety is one of the most important issues of today. According to the World Health Organization, on the world's roads annually die about 1.24 million people, which is more than in all the wars that are now taking place in the world together. The main three factors in the traffic safety system are human, vehicle and infrastructure (roads), of which part are tunnels. Although the proportion of traffic accidents in tunnels is proportional to the longitudinal proportion of tunnels on the roads, because of the specificity of the tunnels, similar traffic accidents in tunnels can have significantly more serious consequences than if they happened on the open parts of the road. This is particularly related to traffic accidents that result in fire, dispersion of dangerous goods, especially when taking into account that tunnel is a closed space where smoke can be fatal, as opposed to the open road sections. Therefore, road tunnels, as the most challenging part of the safety factors "infrastructure / roads", require a special approach, starting from legislation relating to road infrastructure, design, construction to the traffic management.

Key words: *tunnels, traffic safety, traffic control systems*

## Sadržaj

1.	UVOD .....	1
2.	PREGLED ZAKONSKE REGULATIVE VEZANE ZA TUNELE U REPUBLICI HRVATSKOJ I EUROPSKOJ UNIJI.....	3
2.1	Zakon o cestama.....	3
2.2	Zakon o sigurnosti prometa na cestama .....	4
2.3	Pravilnik o minimalnim sigurnosnim zahtjevima za tunele .....	5
2.4	Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama.....	6
2.5	Opći tehnički uvjeti (knjiga VI) Hrvatskih cesta .....	6
2.6	Direktiva 2004/54/EZ o najnižim sigurnosnim zahtjevima za tunele u transeuropskoj cestovnoj mreži .....	6
3.	PASIVNI SUSTAVI ZA UPRAVLJANJE PROMETOM U TUNELIMA .....	9
3.1	Oznake na kolniku.....	10
3.2	Prometni znakovi.....	12
3.3	Oprema ceste .....	16
4.	AKTIVNI SUSTAVI ZA UPRAVLJANJE PROMETOM U TUNELIMA .....	18
4.1	Sustav rasvjete tunela .....	18
4.1.1.	Projektiranje tunelske rasvjete i sustavi kontrole.....	19
4.1.2.	Zone tunelske rasvjete.....	19
4.1.3.	Rasvjetna tijela.....	21
4.1.4.	Izvori svjetlosti.....	22
4.2	Sustav ventilacije tunela.....	22
4.3	Sustav vatrodjave .....	26
4.4	Sustav radiodifuzije.....	29
4.5	Telefonsko pozivni sustav .....	31
4.6	Sustav video nadzora i video detekcije .....	32
4.6.1.	AID - Automatic Automatic Incident Detection (automatsko prepoznavanje/detekcija incidentnih situacija) – studija slučaja tunel Učka .....	34
4.7	Prometno informacijski sustav .....	36
4.7.1.	Brojači (detektori) prometa.....	36
4.7.2.	Cestovne prometne stanice (CPS).....	37
4.7.3.	Promjenjivi prometni znakovi.....	39
4.7.4.	Oprema za zatvaranje tunela .....	40
4.7.5.	Oprema i programska rješenja u COKP-i .....	42

5. PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA POSTOJEĆIH SUSTAVA ZA UPRAVLJANJE PROMETOM U TUNELIMA.....	45
5.1 Optimizacija prometnih znakova, signalizacije i opreme ispred tunela i u tunelu.....	45
5.2 Implementacija sustava automatskog nadzora brzine u tunelima .....	47
5.3 Implementacija sustava detekcije temperature pneumatika i motora vozila (ispred tunela).....	49
5.4 Implementacija sustava detekcije vozila koja prevoze opasne terete.....	50
5.5 Zamjena postojećih rasvjetnih tijela s rasvjetnim tijelima u LED tehnologiji.....	50
6. ZAKLJUČAK .....	51
LITERATURA .....	53
POPIS TABLICA, SLIKA, GRAFIKONA, SHEMA.....	55

# 1. UVOD

Problem sigurnosti prometa na cestama jedan je od najvažnijih problema današnjice. Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije (eng. „World Health Organization“), u svijetu na cestama godišnje pogiba oko 1.240.000 ljudi, što je više nego u svim ratovima koji se trenutno vode u svijetu zajedno. Stoga je Generalna skupština Ujedinjenih naroda u ožujku 2010. godine proglasila desetljeće u kojem živimo (2011.-2020.) „Desetljeće akcije za sigurnost cestovnog prometa“. Cilj je stabiliziranje i smanjenje broja žrtava na cestama, odnosno da se do 2020. godine predviđeni broj žrtava na cestama smanji za 50 posto. Postizanjem tog cilja sačuvalo bi se 5 milijuna života, znatno bi se smanjio broj ozlijeđenih osoba, a ušteda društva iznosila bi 30 bilijuna dolara. Područja djelovanja „Desetljeća sigurnosti“ u cilju smanjenja broja žrtava na cestama ogledaju se u poticanju sigurnijeg ponašanja sudionika u prometu, izgradnji upravljačkih kapaciteta, izgradnji sigurnijih cesta, proizvodnji sigurnijih vozila te učinkovitijoj skrbi nakon prometnih nesreća. [1]

Kompleksan dio prometne infrastrukture, odnosno ceste, čine tuneli. Iako su za vozača tuneli sastavni dio rute kojom se vozač kreće da bi iz točke „A“ stigao u točku „B“, u sigurnosnom smislu tunele je neophodno promatrati zasebno, s dodatnom pozornosti, obzirom se radi o djelomično zatvorenom prostoru gdje elementi nastanka prometnih nesreća, ali i posljedice prometnih nesreća nisu istovjetne onima na otvorenim dionicama ceste. Tako primjerice, nastanak požara na vozilu, rasuti teret ili zaustavljeno vozilo predstavljaju značajno veći čimbenik rizika ukoliko se dogode u tunelu nego na otvorenom dijelu ceste. Možda najbolja potvrda ovoj tvrdnji dolazi iz činjenice kako je europska komisija usvojila Direktivu o sigurnosti u tunelima (Direktiva 2004/54/EZ) čak četiri godine ranije od Direktive o sigurnosti cestovne infrastrukture (Direktiva 2008/96/EZ).

Nastavno na gore navedeno, razvidna je važnost sustava za upravljanje prometom u tunelima kao čimbenika sigurnosti prometa. Razvidno je i kako će zbog kompleksnosti zahtjeva sustavi koji služe za upravljanje prometom u tunelima biti kompleksniji i izazovniji nego li su to sustavi za upravljanje prometom na otvorenim dionicama ceste.

U nastavku ovog rada, čija je tema „Sustavi za upravljanje prometom u tunelima“, definirati će se sljedećih šest cjelina:

1. Uvod
2. Pregled zakonske regulative vezane za tunele u RH i EU
3. Pasivni sustavi za upravljanje prometom u tunelima

4. Aktivni sustavi za upravljanje prometom u tunelima
5. Prijedlozi poboljšanja postojećih sustava za upravljanje prometom u tunelima
6. Zaključak

U drugom poglavlju je opisana nacionalna i EU legislativa koje se dionici u planiranju, projektiranju, gradnji te održavanju sustava za upravljanje prometom u tunelima moraju pridržavati.

U trećem poglavlju pobrojani su pasivni sustavi za upravljanje prometom u tunelima te su definirane osnovne značajke pojedinog sustava.

Četvrto poglavlje obuhvaća analizu aktivnih sustava za upravljanje prometom u tunelima, način rada pojedinog sustava te načine održavanja sustava.

U petom poglavlju dati su prijedlozi poboljšanja postojećih sustava te mogućnosti implementacije novih sustava koji se trenutno ne koriste u Republici Hrvatskoj.



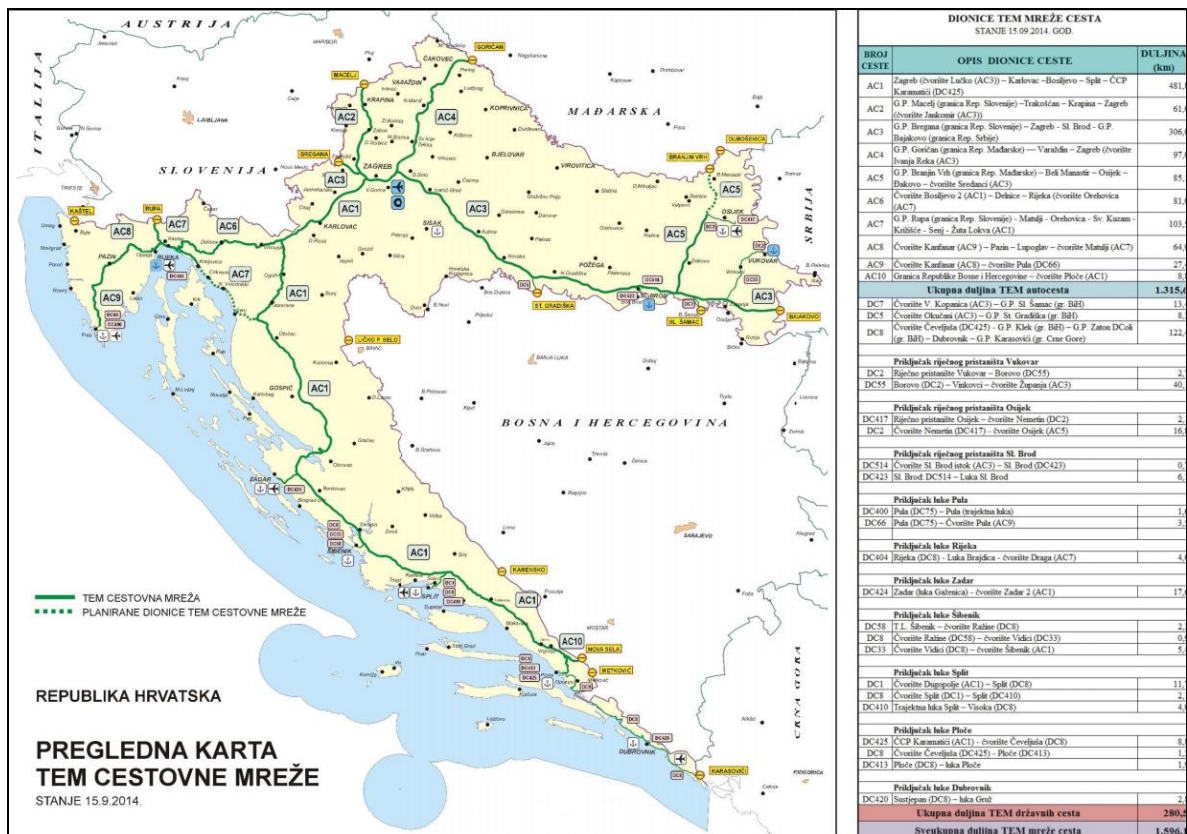
## 2. PREGLED ZAKONSKE REGULATIVE VEZANE ZA TUNELE U REPUBLICI HRVATSKOJ I EUROPSKOJ UNIJI

Zakonska regulativa vezana za tunele, a samim time i sustave za upravljanje prometom u tunelima u Republici Hrvatskoj definirana je prije svega u Zakonu o cestama, Zakonu o sigurnosti prometa na cestama te Pravilniku o minimalnim sigurnosnim zahtjevima za tunele. Oprema tunela definirana je i u Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama te Općim tehničkim uvjetima (knjiga 6) Hrvatskih cesta. Obzirom da je od srpnja 2013. godine Republika Hrvatska dio Europske unije, važno je za naglasiti Direktivu 2004/54/EZ (Direktiva o sigurnosti u tunelima).

### 2.1 Zakon o cestama

Trenutno važeći Zakon o cestama (NN broj 84/11, 18/13, 22/13, 54/13, 148/13 i 92/14) na snazi je od 28. srpnja 2014. godine. U članku 4., stoji kako „javnu cestu čine cestovna građevina (donji stroj, kolnička konstrukcija, most, vijadukt, podvožnjak, nadvožnjak, propust, **tunel**, galerija, potporni i obložni zid, nasip, pothodnik i nathodnik“ te „prometni znakovi i uređaji za nadzor i sigurno vođenje prometa i oprema ceste (prometni znakovi, svjetlosni uređaji, telekomunikacijski stabilni uređaji, instalacije i rasvjeta u funkciji prometa, cestovne značke, brojila prometa, instalacije, **uređaji i oprema u tunelima**, oprema parkirališta, odmorišta i slično“. [2]

Također, u navedenom zakonu, u člancima 62.-67. načelno su definirani minimalni sigurnosni zahtjevi za tunele, koji se odnose isključivo na tunele dužine iznad 500 metara i na trans europskoj mreži cesta (TEM ceste, slika 1), iako treba napomenuti kako Vlada odlukom može odrediti da se odredbe članka 63. do 67. mogu primjenjivati i za pojedine tunele na drugim javnim cestama, nadalje, definirane su obveze Upravnog tijela za sigurnost tunela, Upravitelja tunela, Službenika za sigurnost u tunelu i Inspekcije. Detaljniji prikaz obveza pojedinog subjekta dat je u podnaslovu vezanom uz Direktivu o sigurnosti u tunelima.



Slika 1. Pregledna karta TEM cestovne mreže Republike Hrvatske, izvor [3]

## 2.2 Zakon o sigurnosti prometa na cestama

Za provedbu Zakona o sigurnosti prometa na cestama u Republici Hrvatskoj je nadležno Ministarstvo unutarnjih poslova. Trenutno važeći Zakon o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08, 48/10, 74/11, 80/13, 158/13, 92/14) na snazi je od 5. kolovoza 2014. godine. U glavi IV, članak 12., stavak 3, stoji „da su prometni znakovi : znakovi opasnosti, znakovi izričitih naredbi, znakovi obavijesti i znakovi obavijesti za vođenje prometa s dopunskom pločom koja je sastavni dio prometnog znaka i koja pobježe određuje značenje prometnog znaka ili bez nje, **promjenjivi prometni znakovi**, prometna svjetla i svjetlosne oznake te oznake na kolniku i drugim površinama.“ [4] Također, u članku 146. i 147. definirano je da se vozač koji se vozilom kreće kroz tunel ne smije zaustavljati niti parkirati vozilo u tunelu niti smije polukružno okretati vozilo ili se vozilom kretati unatrag, a što se unatoč zakonskoj odredbi ne poštuje te su, između ostalog, i zbog ove činjenice neophodni sustavi za upravljanje prometom u tunelima.

## **2.3 Pravilnik o minimalnim sigurnosnim zahtjevima za tunele**

Pravilnik o minimalnim sigurnosnim zahtjevima za tunele sadrži odredbe koje su u skladu s Direktivom 2004/54/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 29. travnja 2004. o najnižim sigurnosnim zahtjevima za tunele u transeuropskoj cestovnoj mreži (u nastavku TEM) čija duljina prelazi 500 m, a koji su u fazi projektiranja, građenja ili korištenja. Istim se propisuju minimalni sigurnosni zahtjevi i postupci, uvjeti kada se mora provesti analiza rizika i metodologija po kojoj se ista provodi, dokumentacija o sigurnosti, povjeravanje rada, tehnički zahvati i druge preinake i redovite vježbe te primjena novih tehnologija. [5]

Predmetnim pravilnikom određena je i najveća dozvoljena brzina vožnje u tunelima, a koja iznosi 100 km/h u tunelima s jednosmjernim prometom, a 80 km/h u tunelima s dvosmjernim prometom.

Minimalni sigurnosni građevinski zahtjevi odnose se na broj tunelskih cijevi, geometriju tunela, pristup za hitne službe, zaustavne površine, odvodnju i otpornost tunela na požar.

Minimalni sigurnosni zahtjevi za prometnu signalizaciju i opremu odnose na dolje navedene stavke, a isti će biti pobliže pojašnjeni u sljedećim poglavljima:

- rasvjeta,
- provjetravanje (ventilacija),
- stanice za hitne slučajeve,
- vodoopskrba,
- sustav praćenja (nadzora),
- oprema za zatvaranje tunela,
- komunikacijski sustavi,
- opskrba električnom energijom i strujni krug,
- prometni znakovi, signalizacija i oprema za tunele te horizontalna signalizacija,
- signali voznih traka,
- promjenjivi prometni znakovi i
- radiopostaje.

## **2.4 Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama**

Pravilnikom je o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama definirana je horizontalna i vertikalna signalizacija, a posebice su značajni stalni i promjenjivi (a koji se koriste u svrhu vođenja prometa u tunelima), definiranu su u Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 105/04). Obzirom da su u tunelima u slučaju izvanrednih situacija iznimno bitni promjenjivi prometni znakovi, za naglasiti je da se predmetnim pravilnikom navodi da „kad je zbog prometne sigurnosti ili prometno-tehničkih zahtjeva potrebno, prometni znakovi u cijelosti ili djelomice mogu biti izvedeni kao promjenljivi znakovi.“ [6] Dakle, promjenjivi prometni znakovi se postavljaju u svrhu povećanja stupnja sigurnosti prometa. Također, prometni promjenljivi znakovi prema izvedbi mogu biti kontinuirani i nekontinuirani. Kontinuirani su znakovi oni znakovi koji su izgledom jednaki stalnim prometnim znakovima, a jedina je razlika da uporabom elektromehaničkih sredstava mogu prikazivati različite poruke. Nekontinuirani znakovi su oni znakovi kod kojih je moguća inverzija boja i pojednostavljen prikaz simbola u odnosu na stalne prometne znakove. Ti znakovi oblikuju poruke uporabom pojedinačnih elemenata koji mogu biti u jednome od dva stanja (ili više), čime mogu oblikovati različite poruke na istoj prednjoj površini znaka.“ [6]

## **2.5 Opći tehnički uvjeti (knjiga VI) Hrvatskih cesta**

Sustavi u tunelima definirani su i u Općim tehničkim uvjetima, knjiga VI, 9. poglavlje (Oprema ceste) Hrvatskih cesta, prvenstveno promjenjivi prometni znakovi.

„Promjenjivi prometni znakovi (PPZ) su znakovi kojima se sadržaj prema potrebama prometnoga toka može mijenjati ili se mogu isključiti. Uporabom odgovarajućih, za pojedinu prometnu odnosno vremensku situaciju, primjerenih upozorenja, naredbi i zabrana, te obavijesti preusmjeravanjem prometa, treba se povećati sigurnost prometa i poboljšati odvijanje prometa.“ [7]

## **2.6 Direktiva 2004/54/EZ o najnižim sigurnosnim zahtjevima za tunele u transeuropskoj cestovnoj mreži**

Potaknuti nizom prometnih nesreća koje su se dogodile u tunelima (tablica 1.), a posebice nakon prometnih nesreća u tunelima Mont-Blanc i Tauern (slika 2), u kojima je 1999. godine život izgubila 51 osoba, 30. studenog 2001. u Zurichu su se sastali ministri

prometa Austrije, Francuske, Njemačke, Italije i Švicarske te su usvojili Zajedničku izjavu kojom preporučuju usklađenje nacionalnih zakona i propisa o najnovijim usklađenim uvjetima za poboljšanje sigurnosti u tunelima. Svrha je postizanje jednoznačnog, kontinuiranog i visokog stupnja sigurnosti za sve građane Europe u cestovnim tunelima. Također, i Vijeće Europe u nekoliko navrata, a posebice na sastanku 14. i 15. prosinca 2001. u Laekenu naglašava potrebu za hitnim poduzimanjem mjera za poboljšanje sigurnosti tunela.

Kao rezultat ovih, ali i mnogih drugih akcija, 29. travnja 2004. Europski parlament i vijeće donose Direktivu 2004/54/EC o minimalnim uvjetima sigurnosti za tunele u trans-europskoj cestovnoj mreži (u daljnjem tekstu Direktiva). [8]

Tablica 1. Prometne nesreće u tunelima (Izvor: [9])

Godina	Država	Tunel	Duljina (m)	Broj smrtno stradalih
1978	Nizozemska	Velsen	770	5
1979	Japan	Nihonzaka	2.000	7
1980	Japan	Sakai	460	5
1982	SAD	Caldecott	1.100	7
1983	Italija	Pecorile	660	9
1989	Austrija	Brenner	412	2
1995	Austrija	Pfander	6.880	3
1996	Italija	Isola d. Femmine	148	5
1999	Francuska - Italija	Mont-Blanc	11.600	39
1999	Austrija	Tauern	6.400	12
2001	Austrija	Gleinalm	8.300	5
2002	Švicarska	St. Gothard	16.900	11
2006	Švicarska	Viamala	750	9
<b>2006</b>	<b>Hrvatska</b>	<b>Ledenik</b>	<b>768</b>	<b>4</b>



Slika 2. Posljedice požara u tunelu Mont-Blanc, izvor [10]

Direktiva se odnosi na tunele čija duljina najduljeg zatvorenog prometnog traka iznosi preko 500m i koji se nalaze na trans-europskoj cestovnoj mreži, bez obzira jesu li već u eksploataciji, u izgradnji ili tek u fazi projektiranja. Glavni cilj Direktive je prevencija izvanrednih događaja u tunelima, dok je drugi cilj smanjenje neželjenih posljedica ukoliko dođe do izvanredne situacije.

### 3. PASIVNI SUSTAVI ZA UPRAVLJANJE PROMETOM U TUNELIMA

U prethodnom poglavlju navedeno je kako se legislativa vezana za tunele odnosi isključivo na one tunele dužine iznad 500 metara i koji se nalaze na TEM. Najviše takvih tunela u Republici Hrvatskoj je na autocestama (tablica 2).

Tablica 2. Prikaz tunela na autocestama duljine preko 500 m (Izvor: [11])

	Naziv tunela	Duljina (m)	AC
1	Mala Kapela	5.780	A1
2	Sv. Rok	5.686	A1
3	Učka	5062	A8
4	Plasina	2.300	A1
5	Tuhobić	2.141	A6
6	Sv. Tri Kralja	1.741	A2
7	Brinje	1.560	A1
8	Javorova Kosa	1.460	A6
9	Konjsko	1.261	A1
10	Grič	1.231	A1
11	Veliki Gložac	1.130	A6
12	Dubrava	868	A1
13	Vršek	868	A6
14	Trsat	830	A7
15	Sleme	824	A6
16	Ledenik	768	A1
17	Sopač	740	A6
18	Bristovac	700	A1
19	Vrtlinovec	628	A4
20	Brezik	618	A1
21	Pod Vugleš	610	A6
22	Čardak	601	A6
23	Škurinje 2	595	A7
24	Brezovica	590	A2
25	Stražina	584	A1
26	Lučice	576	A6
27	Hrastovec	523	A4
28	Rožman Brdo	523	A6
29	Bisko	520	A1

Sustavi u tunelima koji služe za upravljanje prometom u grubo bi se mogli podijeliti na pasivne i aktivne sustave.

Pasivni sustavi (stalni sustavi) neovisni su o karakteristikama prometnog toka i ostalim događajima u i ispred tunela. U pasivne sustave spadaju horizontalna signalizacija i vertikalna signalizacija (stalni prometni znakovi) te oprema ceste.

### 3.1 Oznake na kolniku

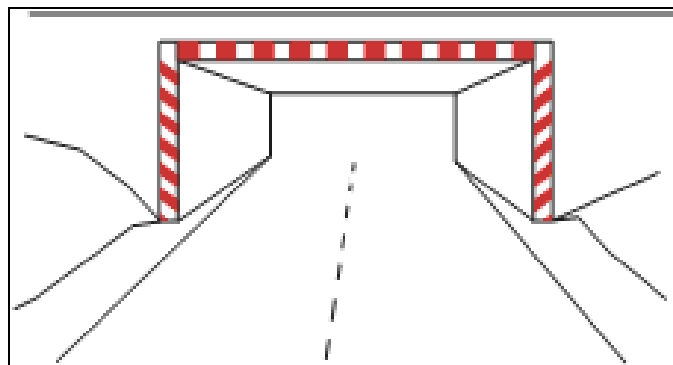
Oznake na kolniku ucrtavaju se, lijepe, ugrađuju ili utiskuju u kolnički zastor i ne smiju povećavati sklizavost kolnika. Oznake na kolniku ne smiju biti više od 0.6 cm iznad razine kolnika. [6] Oznake na kolniku u zoni ispred tunela, posebice na autocestama, gdje su u pravilu ispred tunela tri prometne trake (vozna, pretjecajna i zaustavna prometna traka), posebice je značajna. Također, oznakama na kolniku potrebno je signalizirati dijelove ceste na kojima nije dozvoljeno pretjecanje vozila ili promjena prometne trake.

Širina središnje razdjelne crte ovisi o širini kolnika i iznosi:

- 1) za kolnik širine 3,5 m - 20 cm;
- 2) za kolnik širine 3 – 3,5 m - 15 cm;
- 3) za kolnik širine 2,75 – 3 m – 12 cm,
- 4) za kolnik širine 2,5 – 2,75 m – 10 cm.

Širina rubne i razdjelne crte je iste širine. [6]

Za tunele je još bitno naglasiti kako elementi konstrukcije i opreme javnih cesta i drugih predmeta koji označuju stalne prepreke unutar mjera prometnog profila se obilježavaju crveno – bijelom, a slobodnog profila crno – bijelom oznakom (oznaka H66 - slika 3).

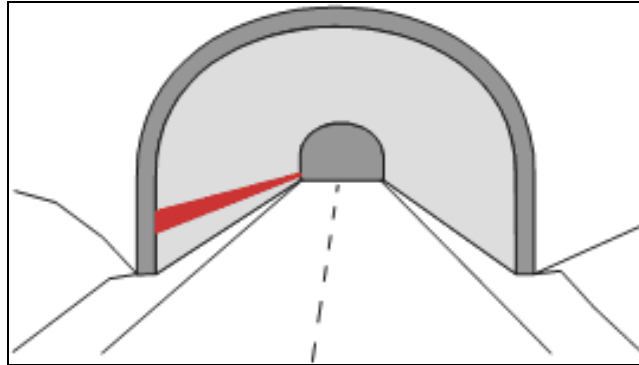


Slika 3. Obilježavanje ulaza u tunel, izvor [6]

Evakuacijska crta na oblozi tunela označava se cijelom dužinom tunela sa strane na kojoj se nalaze ulazi u pješačke prolaze i prolaze za vozila, crtom širine 50 cm u crvenoj boji



(oznaka H67 - slika 4). Evakuacijska crta na oblozi tunela izvodi se tako da je donji rub crte na visini od 90 cm od razine pješačkog hodnika.



Slika 4. Evakuacijska crta u tunelu, izvor [6]

Ukoliko se želi posebno naglasiti razdvajanje pojedinih smjerova kretanja, ili se želi vozača upozoriti da je prešao središnju ili rubnu crtu, iste je moguće s „vibro – efektom“ (slika 5).



Slika 5. Razdjelna (središnja) crta s „vibro-efektom“, izvor [12]

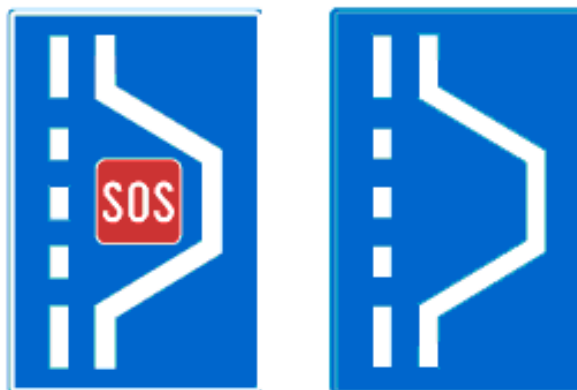
### 3.2 Prometni znakovi

Prometni znakovi postavljaju se i koriste ispred tunela, u tunelu i iza tunela. Pri projektiranju znakova za tunel moraju se uzeti u obzir uvjeti lokalnog prometa, građevinski uvjeti i ostali lokalni uvjeti.

Prometnim znakovima u tunelima moraju se označiti:

- zaustavne površine,
- izlazi za slučaj nužde (koristiti se isti znak za sve vrste izlaza u slučaju nužde),
- putovi za slučaj nužde (dva najbliža puta za slučaj nužde moraju biti označena znakovima na bočnim zidovima, na međusobnoj udaljenosti od najviše 25 m i na visini od 1,0 do 1,5 m iznad razine trase puta za izlaz u slučaju nužde, s naznakom udaljenosti do izlaza),
- stanice za hitne slučajeve (koriste se znakovi kojima se označava postojanje telefona za hitne slučajeve i vatrogasnih aparata),
- evakuacijska crta (crta crvene boje, izvedena s one strane tunela na kojoj se nalaze evakuacijski prolazi). [5]

Zaustavne površine služe za zaustavljanje vozila u nuždi (primjerice u slučaju kvara) i označavaju se prometnim znakom C72, odnosno C73. Znak „ugibalište za zaustavljanje vozila u nuždi“, označuje mjesto ili blizinu mjesta na kojem je izgrađena posebna površina kolnika za prisilno zaustavljanje vozila. Znak se postavlja na početku ugibališta i 250 m, izuzetno 150 m, prije mjesta koje označuje. Znak C72 ima natpis SOS na crvenoj podlozi. Znak C73 postavlja se na ugibalište na kojem se nalazi SOS telefon, a znak C73 se postavlja na ugibalište u čijoj blizini nema SOS telefona. Znak postavljen na autocesti zelene je boje, a na svim ostalim cestama plave je boje (slike 6 i 7). [6]



Slike 6. i 7. Prometni znak „ugibalište za zaustavljanje vozila u nuždi“ (C72/C73), izvor [6]

Ukoliko na ugibalištu za zaustavljanje vozila u nuždi postoji stanica za hitne slučajeve s telefonom za hitne slučajeve i vatrogasnim aparatom, isti se označavaju prometnim znakovima C38 i C58 (slike 8 i 9), u pravilu s unutarnjom rasvjetom izvedenom u LED tehnologiji.



Slike 8. i 9. Prometni znakovi „telefon za hitne slučajeve“ (C38) i „Vatrogasni aparat“ (C58),  
izvor [6]

Prometni znakovi za označavanje „Izlaza u slučaju opasnosti“ su C124 i C125 (slike 10 i 11). Znakovi se izvode s unutarnjom rasvjetom pa se u praksi nazivaju „ZUR-ovi“ [13]. Ploče C124 se postavljaju na bočne zidove neposredno kod vrata izlaza za slučaj opasnosti i to najmanje 2 m iznad visine pješačkog hodnika. [5]



Slika 10. Prometni znak „izlaz u slučaju opasnosti“ (C124), izvor [6]

Prometnim znakom C125 označavaju se dva najbliža izlaza na bočnim zidovima. Dva najbliža puta za slučaj nužde moraju biti na bočnim zidovima označena znakom C125, na međusobnim udaljenostima od najviše 25 m, a na bočnom zidu na strani izlaza na udaljenosti od najviše 50 m i to s unutarnjom rasvjetom. Ukoliko je udaljenost postavljanja znakova s unutarnjom rasvjetom veća od 25 m, između dva takva znaka postavlja se znak izveden fotolumiscentnom folijom, koja emitira svjetlost u mraku, najmanje 3 sata nakon nestanka rasvjete. Ploče se na bočne zidove postavljaju na istim stacionažama. [5]



Slika 11. Prometni znak „izlaz u slučaju opasnosti“ (C125), izvor [13]

Upravitelj tunela obvezan je postaviti (stalne) prometne znakove i izvan tunela. Prometni znakovi koji se postavljaju izvan tunela (prilaz tunelskoj cijevi) su sljedeći:

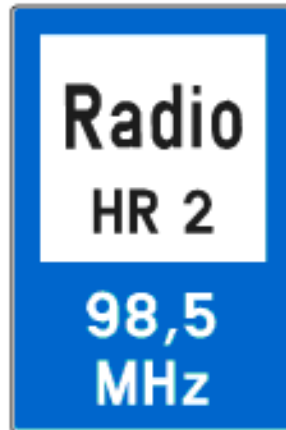
- prometni znak C76 (cestovna građevina),
- prometni znak C64 (radiopostaja – ukoliko postoji sustav radio emitiranja u tunelu),
- prometni znakovi izričitih naredbi (B27, B31, B33 i B39).

Na svakom ulazu u tunel postavlja se prometni znak C76 (slika 12), na kojem se navodi naziv i duljina tunela. Znak „cestovna građevina“ (C76) označuje naziv i dužinu cestovne građevine od posebnog značenja (tunel). Znak postavljen na autocesti zelene je boje, na brzoj cesti je plave boje, a na ostalim cestama žute je boje. Za tunele duljine veće od 3000 m, preostala duljina tunela označava se svakih 1000 m. [5]



Slika 12. Prometni znak „cestovna građevina“ (C76), izvor [6]

U tunelima u kojima korisnici mogu primiti obavijesti putem radio prijemnika, moraju se, na udaljenosti od najmanje 250 m ispred ulaznog portala, postaviti znakovi o prikladnom načinu primanja obavijesti (prometni znak C64, označuje područje čujnosti radiopostaje koja daje službene obavijesti o stanju na cestama, čiji su naziv i frekventno područje upisani na znaku – slika 13). U tunelima duljim od 3.000 m prometni znak C64 postavlja se na više mjesta unutar tunela. [5]



Slika 13. Prometni znak „radiopostaja“ (C64), izvor [6]

Kako je najviše ograničenje brzine u dvosmjernim tunelima 80 km/h, odnosno 100 km/h u jednosmjernim tunelima, ukoliko je ograničenje brzine ispred tunela veće (posebice izraženo na autocestama gdje je ograničenje brzine u pravilu 130 km/h), onda se ispred tunela mora postaviti prometni znak B31 – ograničenje brzine. Također, kako zaustavljanje i parkiranje u tunelima nije dozvoljeno, ispred tunela se postavlja i prometni znak B39 – zabrana parkiranja. U izradi ovog završnog rada prikupljanjem izvedbene dokumentacije vezane za tunele primijećeno je kako se, u pravilu, ispred tunela postavljaju i znakovi za „najmanja udaljenost između vozila“ (B27), koja označuje najmanju udaljenost između vozila u kretanju koje se vozači moraju pridržavati te znak „zabrana pretjecanja za teretne automobile“ (B33) koji označuje cestu ili dio ceste na kojem je teretnim automobilima, čija najveća dopuštena masa premašuje 3,5 t, zabranjeno pretjecanje drugih motornih vozila, osim motocikla bez prikolice i mopeda.

### 3.3 Oprema ceste

Oprema ceste koja se koristi u tunelima ili ispred i iza tunela su:

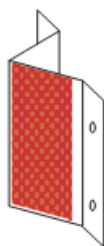
- smjerokazne oznake (markeri),
- reflektirajuće oznake,
- ploča za označavanje zavoja na cesti,
- smjerokazne oznake (markeri) za razdvajanje smjerova vožnje.

Smjerokazne oznake (markeri – K02) za tunele i galerije, označuju rub kolnika u tunelu odnosno, galeriji i izvode se u tehnologiji svjetlećih dioda (LED) i moraju imati stalan izvor napajanja. Smjerokazne oznake za tunele u smjeru vožnje su na desnoj strani crvene boje, a na lijevoj strani ceste bijele boje (slika 14). Na kolniku s jednosmjernim prometom reflektirajuća oznaka u smjeru vožnje s desne strane je crveno – bijele izvedbe, a s lijeve strane u obostrano crvenoj izvedbi za slučaj preusmjeravanja prometa i korištenja kolnika za dvosmjerni promet. U tunelima i galerijama smjerokazne oznake ili markeri u tehnologiji svjetlećih dioda (LED) (slika K02) postavljaju se na razmaku 25 m kad je tunel ili galerija u pravcu, odnosno na razmaku 15 m u zavoju i na prvih 100 m tunela ili galerije. [6]



Slika 14. Smjerokazne oznake (markeri – K02) u tunelu, izvor [14]

Reflektirajuće oznake (K03 – slika 15) označuju rub kolnika koje se postavljaju na objekte na mjestima na kojima nije moguće postaviti smjerokazne stupiće (K01), a čiji oblik, veličina i boja ovise o mjestu postavljanja (na zaštitnoj ogradi, na bočnim stranicama tunela, na potpornom zidu i slično te na uzdužnim i poprečnim oznakama na kolniku). [6]



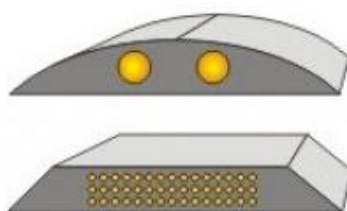
Slika 15. Reflektirajuće oznake (K03), izvor [6]

Ploča za označavanje zavoja na cesti (K12 i K13) i ploča za označavanje oštrog zavoja na cesti (slika K14) sa smjerom usmjeravanja na desno ili na lijevo. Boja strelice znaka K14 je žuto-zelene boje retrorefleksije klase III. Znakovi se postavljaju na mjestu na kojem počinje oštar zavoj te u samom zavoju. Ploča K14 postavlja se u veoma oštrom i neočekivanom zavoju. [6] Ploče K12, K13 i K14 prikazane su na slici 16.



Slika 16. Ploče za označavanje zavoja na cesti (K12,K13 i K14), izvor [6]

Smjerokazne oznake (markeri) za razdvajanje smjerova vožnje (K37 – slika 17), imaju usmjeravajuću reflektirajuću ili svjetleću oznaku s obje strane bijele boje. Smjerokazne oznake (markeri) za razdvajanje prometnih traka u tunelima (galerijama) postavljaju se na razmaku od 6 m kad je promet u tunelu (galeriji) dvosmjernan, odnosno na razmaku od 12 m kad je jednosmjernan.



Slika 17. Smjerokazne oznake (markeri) za razdvajanje smjerova vožnje (K37), izvor [15]

## **4. AKTIVNI SUSTAVI ZA UPRAVLJANJE PROMETOM U TUNELIMA**

Aktivni sustavi za upravljanje prometom u tunelima rade ovisno o karakteristikama prometnog toka i/ili ostalim događajima (vremenski uvjeti, vidljivost, incidentni događaji...) u i ispred tunela. Aktivni sustavi podijeljeni su kako slijedi:

- sustav rasvjete tunela,
- sustav ventilacije tunela,
- sustav vatrodojave,
- sustav radiodifuzije,
- telefonski pozivni sustav,
- sustav video nadzora i video detekcije,
- prometno informacijski sustav.

Za napomenuti je kako su u Republici Hrvatskoj sustav rasvjete, ventilacije i vodospreme u sklopu SDUN-a (Sustav daljinskog upravljanja i nadzora), gdje se svi podaci s predmetnih sustava obrađuju te se istima i upravlja.

### **4.1 Sustav rasvjete tunela**

Rasvjeta tunela iznimno je bitan sigurnosni čimbenik pri upravljanju prometom u tunelima. Iako na otvorenim dionicama cesta rasvjeta ima najznačajniju ulogu u uvjetima smanjene vidljivosti, posebice noću, a tijekom dana je isključena (ukoliko nema jače naoblake ili magle koji bi smanjivali vidljivost), u tunelima je rasvjeta, najznačajnija danju, posebice kada je danje osvijetljenje najjače. Razlog tomu je što je ljudskom oku potrebno više vremena da se navikne prilikom promjene iz svjetlijeg u tamno nego li u obrnutom slučaju. Posljedica ovakvog načina rada su zahtjevi koji se najviše očituju u prilagodbi oka vozača, posebice tijekom dana, kada je kontrast jačine svjetlosti između unutrašnjosti tunela i vanjskog prostora iznimno velik, dok tokom noći vrijedi inverzni režim od danjeg. Za unutrašnjost tunela kao i kritične točke unutar tunela od esencijalne je važnosti kontrola rasvijetljenosti tunela. Razine svjetlosti izvan tunela, svijetlo dana te karakteristike prometnog toka značajni su parametri koji se obrađuju u sustavima kontrole.

Primarni cilj tunelske rasvjete je omogućiti siguran i pouzdan ulaz, prolazak i izlaz iz tunela, a sekundarni cilj je omogućiti primarni cilj bez obzira na količinu prometa u tunelu.



Ostvarivanje napomenutih ciljeva direktno je povezano s odabirom odgovarajuće tunelske rasvjete koja pritom omogućava brzu prilagodbu vozača na svjetlo unutar tunela, identifikaciju potencijalno opasnih prepreka u tunelu kao i neometan prolaz motornih vozila kroz tunel bez drastičnog smanjenja brzine kretanja vozila. [14]

#### 4.1.1. Projektiranje tunelske rasvjete i sustavi kontrole

Projektiranje tunelske rasvjete je veoma složen i sofisticiran zadatak. Činjenica je da između najpreciznijih kalkulacija i modela razina iluminacije tunelske rasvjete uključujući veoma stroge kriterije, norme i standarde, uvijek je prisutna razlika između matematičko svjetlosnih uvjeta i subjektivne perspektive vozača u tunelu. [14]

Kod projektiranja je važno za napomenuti da ne postoje dva identična tunela. Stoga se ne mogu formulirati opće preporuke vezane uz izbor odgovarajućih rasvjetnih tijela. Međutim, mogu se definirati kriteriji rasvjete koji se moraju zadovoljiti kako bi se osigurala sigurna tunelska rasvjeta. [16]

U tunelu, razine prirodne svjetlosti određuje osvjetljenost. Potrebna razina osvjetljenosti ovisi i o gustoći prometa i ograničenju brzine. Okvirne vrijednosti se odnose na ceste i zidove do visine od 2 metra i prikazane su u tablici 3:

Tablica 3. Prikaz odnosa razine osvjetljenosti u ovisnosti o ograničenju brzine u tunelu (Izvor: [17])

Ograničenje brzine	Okvirna vrijednost osvjetljenosti
50 km/h	100 do 250 cd/m <sup>2</sup>
80 km/h	160 do 320 cd/m <sup>2</sup>
100 km/h	250 do 400 cd/m <sup>2</sup>

Kontinuirana istraživanja i razvoj doprinijela su sve sofisticiranijem i detaljnijem shvaćanju tunelske rasvjete i njezinom utjecaju na položaj vozača motornoga vozila u tunelu. Projektiranje i dizajn rasvjete tunela definira odabir sustava rasvjete, tip, vrstu, broj rasvjetnih tijela kao i njihovu razinu rasvjetljenosti.

#### 4.1.2. Zone tunelske rasvjete

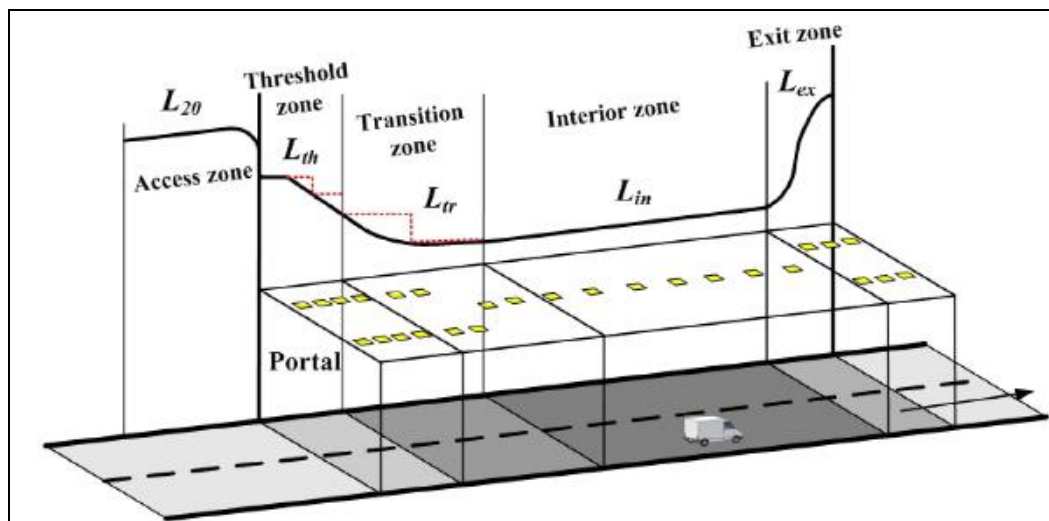
Rasvjeta se mora izvesti na način da osigurava primjerenu vidljivost danju i noću u zoni ulaza i izlaza (prilagodnih zona), kao i u unutrašnjosti tunela. U slučaju kvara rasvjete, kada je

uključena rasvjeta u nuždi, brzina vožnje pri ulasku u tunel ograničava se na 60 km/h i manje, pomoću promjenjivih prometnih znakova koji se postavljaju neposredno prije ulaska u tunel.

U slučaju kvara opskrbe električnom energijom, mora se izvesti sigurnosna rasvjeta, kojom se omogućava minimalna vidljivost korisnicima dok ulaze, odnosno napuštaju tunel u vozilima, u vremenu od najmanje 120 minuta. [5]

Pri planiranju tunelske rasvjete treba usmjeriti pozornost na pet ključnih zona rasvjete unutar tunela (slika 18):

1. pristupna zona (access zone),
2. ulazna zona (threshold zone),
3. tranzicijska zona (transition zone),
4. unutarnja zona (interior zone),
5. izlazna zona (exit zone).



Slika 18. Pet zona tunelske rasvjete, izvor [17]

Pristupna zona predstavlja dio cestovne prometnice prije samoga ulaza u tunel. Iz položaja pristupne zone, vozač mora biti u stanju i mogućnosti vidjeti dio unutrašnjosti tunela i zamjetiti potencijalne prepreke, opasnosti te nastaviti vožnju ka tunelu bez reduciranja brzine kretanja. Vozačeva mogućnost prilagodbe unutar pristupne zone definira nivo tunelske rasvjete u nadolazećoj zoni rasvjete.

Ulazna zona može se usporediti sa zaustavnom udaljenošću. U prvom dijelu ove zone razina iluminacije mora ostati konstantna i povezana s vanjskom iluminacijom. Pri završetku ulazne zone, razina potrebne iluminacije mora se u kratkom vremenskom periodu dovesti na vrijednost od 40% početne vrijednosti.

Prostorom tranzicijske zone postepeno se smanjuje vrijednost iluminacije do razine koja je potrebna u unutarnjoj zoni (interior zone). Faze smanjenja ne smiju biti veće od omjera 1:3 te moraju biti povezane s mogućnošću ljudskog oka da se prilagodi okolini u “real time” vremenu. Kraj tranzicijske zone označava da je dostignuta vrijednost iluminacije jednaka trostrukoj razini unutrašnjosti.

Unutarnja zona je prostor između tranzicijske i izlazne zone, a ujedno je i najduža sekcija tunela. Razine iluminacije povezane su s brzinom kretanja motornih vozila kao i gustoćom prometa.

Izlazna zona je dio tunela između unutarnje zone i završetka tunela (natkriveni dio). Tijekom dana u ovoj je zoni vidljivost vozača koji se približava izlasku iz tunela direktno povezana s razinom blještavila na izvan tunela. Ljudsko oko ima sposobnost gotovo trenutačne prilagodbe na prelasku iz tamnijeg (mračnijeg) u svjetliji prostor te kako je prije napomenuto, obrnuti slučaj ne vrijedi. Duljina izlazne zone je maksimalno 50 metara. [14]

#### *4.1.3. Rasvjetna tijela*

Kako su u tunelima često prisutne nezanemarive količine vlage, soli, ispušnih plinova u kojima ima hidrokarbonata, goriva, ulja, prašine, rasvjetna tijela montirana u tunelu moraju zadovoljiti standarde sa drugačijim vremenskim i atmosferskim utjecajima okoline u kojoj se nalaze od rasvjetnih tijela izvan tunela. Nadalje, detaljnija analiza vode dokazuje prisutnost sulfata, cinka, sulfida i kadmija. Neki od ovih spojeva rezultat su nastanka pojave korozije. Rasvjetna tijela montirana u takvoj okolini postaju “zagađena-kontaminirana”. Unutar tunela nema padalina koje bi očistile površinu rasvjetnih tijela već su ona suočena sa neprestanim nagomilavanjem prljavština i opasnih spojeva i materija. [14]

Alternativa tomu su redovita održavanja i čišćenja tunelske infrastrukture koja povećavaju troškove održavanja, ali i utječu na sigurnost i protočnost prometa, obzirom da je za prethodne radove potrebno postavljanje privremene regulacije prometa i zatvaranje za promet jedne prometne trake, ili cijele tunelske cijevi.

Iz tih razloga veoma je bitno da karakteristike materijala korištenih u proizvodnji rasvjetnih tijela tunela budu efektivne i otporne na prije spomenute utjecaje. Rasvjetna tijela moraju biti proizvedeni od najkvalitetnijih materijala, dugog vijeka trajanja, otporni na udarce i vibracije. Proizvedena rasvjetna tijela prolaze kroz višestruke provjere prije puštanja u promet i isporuke. [14]

#### *4.1.4. Izvori svjetlosti*

Izvori svjetlosti koji se koriste u tunelima u Republici Hrvatskoj su najčešće visokotlačni natrij i visokotlačni metal halogeni, dok se u svijetu još koriste LED i OLED te izvori svjetlosti na bazi PLAZMA tehnologije.

Visokotlačni natrij karakterizira zlatno-žuta boja emitiranog spektra od 2000-2200 K, valne dužine 590 nm, velika iskoristivost od preko 100 lm/W, dobra kontrastna osjetljivost i relativno dobro raspoznavanje boja.

Visokotlačne metal halogene karakterizira bijela boja emitiranog spektra od 4000 - 6000 K, valne dužine oko 470 nm, dobra iskoristivost od preko 90 lm/W, lošija kontrastna osjetljivost i dobro raspoznavanje boja. Za visokotlačni natrij i visokotlačne metal halogene zajednička je karakteristika da sadrže živu od 16 do 29 mg, ovisno o tipu i snazi te nisu ekološki.

LED i OLED najviše se u praksi pojavljuju sa 4000 K do 5000 K kada im je efikasnost (diode kao jedinke) i do 120 lm/W. Međutim što se više „spuštaju“ u područje toplijih boja, na primjer do 3000 K, efikasnost im pada i iznosi oko 100 lm/W.

Izvori svjetlosti na bazi PLAZMA tehnologije najnoviji su izvori svjetlosti koje karakterizira temperatura boje od oko 5400 K i za sada najmanja snaga koja je u operativnoj primjeni iznosi 200 W sa realiziranih oko 23000 lm. Međutim, kod tog izvora svjetlosti problem je konstruirati odgovarajuću optiku.

LED i OLED te izvori svjetlosti na bazi PLAZMA tehnologije zajednička ne sadrže živu. [18]

## **4.2 Sustav ventilacije tunela**

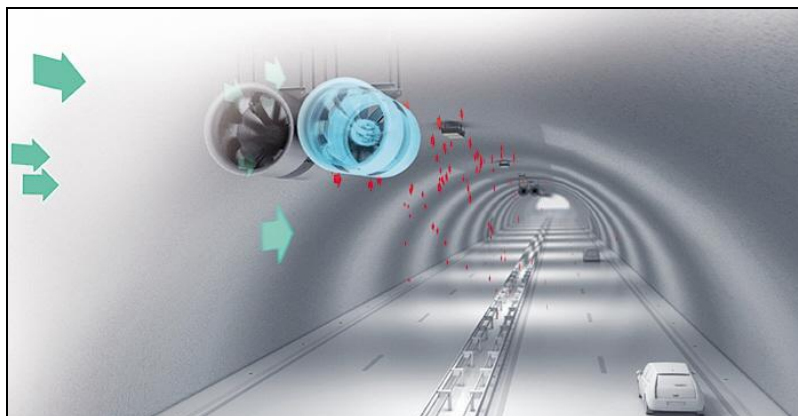
Sustav ventilacije tunela ima za zadaću detektirati određena stanja atmosfere te aktivacijom predefiniраниh algoritama rada ventilacijskog sustava ukloniti ili minimizirati mogućnost ugrožavanja ljudi i imovine u tunelu. Tako se detektiraju zagađenja atmosfere koje emitiraju cestovna vozila kod normalnog i vršnog prometnog toka, zagađenja koje emitiraju cestovna vozila kada je promet zaustavljen zbog incidenta ili nesreće te se kontroliraju temperature i pojava dima u slučaju požara, pojava magle, a kod dvocijevnih tunela detektira se eventualni prodor dima iz ugrožene u drugu (evakuacijsku) cijev. Na osnovu istih aktivacijom određenih algoritama rada pokreću se scenariji i ventilacijska tijela te se vjetrenjem štite ljudi i imovina u tunelu. Za napomenuti je i kako u slučaju požara u tunelu, u pravilu nije temperatura ta od koje stradaju osobe koje su se zatekle u tunelu u trenutku požara, već od dima.

Vjetrenje tunela može biti prirodno, izazvano prometom (kretanjem vozila kroz tunel), i vjetrenje primjenom ventilatora.

Prirodno vjetrenje tunela uzrokovano je klimatskim čimbenicima: tlakom, temperaturom, vjetrom i gustoćom zraka. Ovisno o zemljopisnom položaju tunela tlak i temperatura zraka znatno se razlikuju na portalima tunela. Na temperaturu zraka na portalima tunela može utjecati zagrijavanje sunca što potiče visinsko strujanje zraka i promjene tlakova. Temperatura tunelskog zraka razlikuje se od atmosferskog zraka, pa kod tunela pod nagibom stvara znatne razlike pritisaka i strujanje zraka (efekt dimnjaka). Dinamička sila vjetra, ovisno o podudaranju smjera puhanja sa smjerom tunela, može uzrokovati strujanje zraka u tunelu.

Vjetrenje izazvano prometom, kretanjem vozila kroz tunel, (efekt klipa) dovodi do stvaranja razlike tlakova, ako se brzina vozila razlikuje od brzine zraka. Pri tome naročiti značaj ima brzina i oblik vozila, odnos površine poprečnog presjeka vozila i tunela te gustoća i smjer prometa. Pri jednosmjernom prometu u tunelima znatne duljine, uslijed ovog efekta postiže se dobro vjetrenje. Pri dvosmjernom prometu vozila u tunelu, ovaj efekt je znatno manji.

Vjetrenje tunela primjenom ventilatora (mehanički sustav – slika 19) uvodi se kad prirodno vjetrenje i vjetrenje uzrokovano prometom vozila ne daje zadovoljavajuće rezultate. Pri tome, promet vozila u tunelu i prirodno vjetrenje imaju utjecaja na parametre vjetrenje tunela.



Slika 19. Ventilatori, izvor [20]

Mehanički sustav ventilacije mora se postaviti u svim tunelima duljim od 1.000 m s prometnim opterećenjem većim od 2.000 vozila po prometnoj traci na dan. Za tunele duljine od 500 do 1.000 m i prometnim opterećenjem većim od 2.000 vozila na dan, potrebno je

numerički dokazati da nije potrebna ugradnja mehaničkog sustava ventilacije, uzimajući u obzir redovni pogon i uvjete požara. [19]

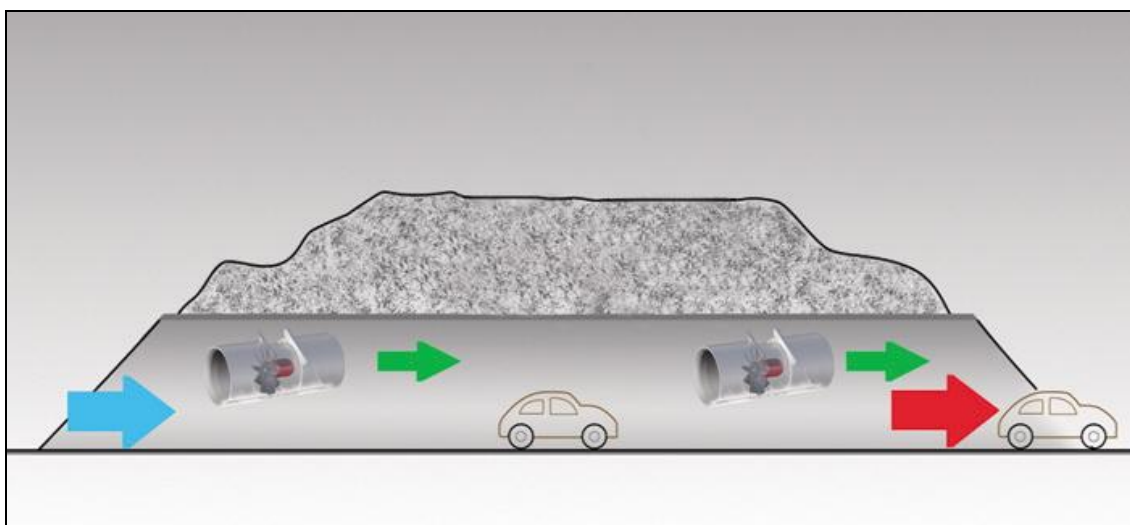
U tunelima s dvosmjernim i/ili zagušenim jednosmjernim prometom dozvoljena je uzdužna ventilacija samo ako analiza rizika dokaže da je ona prihvatljiva i/ili ako su poduzete posebne mjere, kao što je primjereno upravljanje prometom, kraći razmaci između izlaza za slučaj nužde, odvod dima u pojedinim dionicama tunela i dr.

Poprečni ili polupoprečni sustavi ventilacije, koji mogu odvoditi dim u slučaju požara, koriste se u tunelima u kojima je potreban mehanički sustav ventilacije, uz uvjet da je analizom rizika dokazana neprihvatljivost uzdužne ventilacije. [5]

Za tunele dulje od 3.000 m, s dvosmjernim prometom i prometnim opterećenjem većim od 2.000 vozila po prometnoj traci na dan, koji imaju kontrolni centar i poprečnu i/ili polupoprečnu ventilaciju, u pogledu ventilacije poduzimaju se sljedeće mjere:

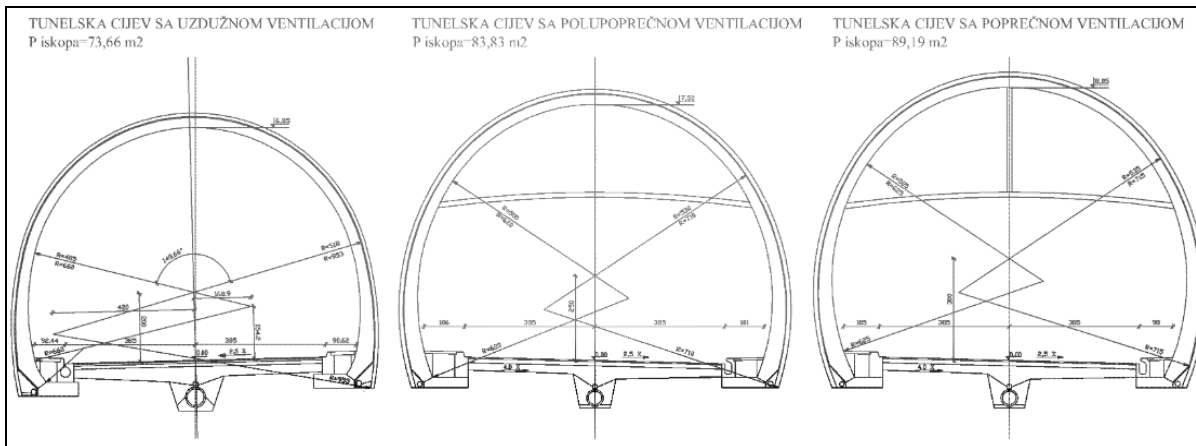
- postaviti zaklopke za odvod zraka i dima iz tunela, koje se mogu automatski aktivirati pojedinačno ili grupno,
- stalno pratiti uzdužnu brzinu zraka i u skladu s njom podešavati proces upravljanja ventilacijskog sustava (odvodne zaklopke, ventilatori i dr.).

Uzdužna ventilacija (slika 20) je najekonomičnije rješenje ventiliranja tunela. Ista ne zahtijeva dodatne građevinske radove, posebne strojarnice te je u redovitoj eksploataciji tunela najekonomičnija, a u slučaju požara može se izvršiti potrebno odimljavanje.



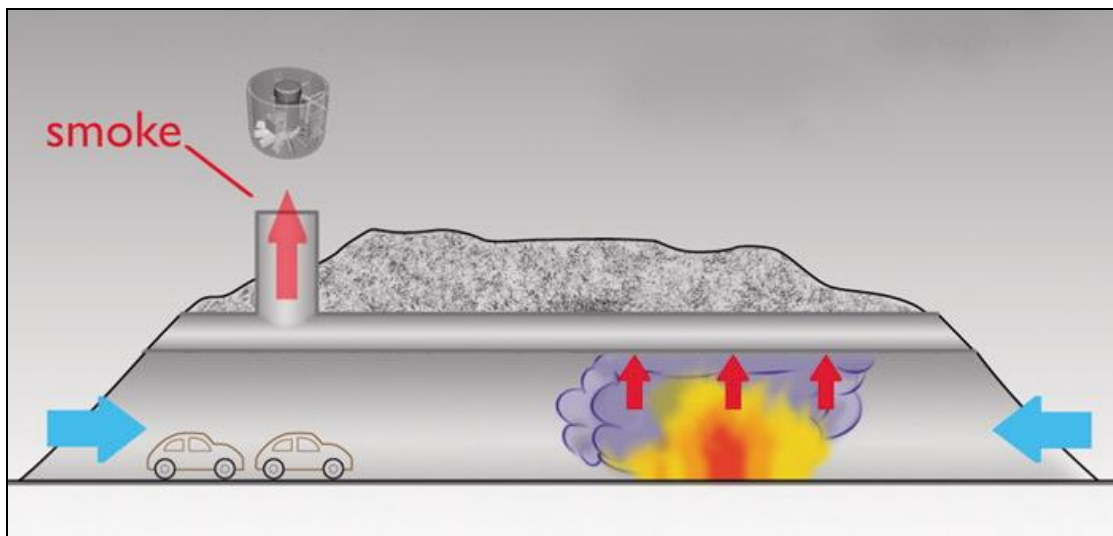
Slika 20. Uzdužna ventilacija, izvor [20]

Osim uzdužne ventilacije, postoje još dva tipa mehaničke ventilacije tunela: polupoprečna ventilacija i poprečna ventilacija. Tipovi ventilacije prikazani su na slici 21.



Slika 21. Normalni poprečni presjeci tunelskih cijevi ovisno o tipu ventilacije, izvor [21]

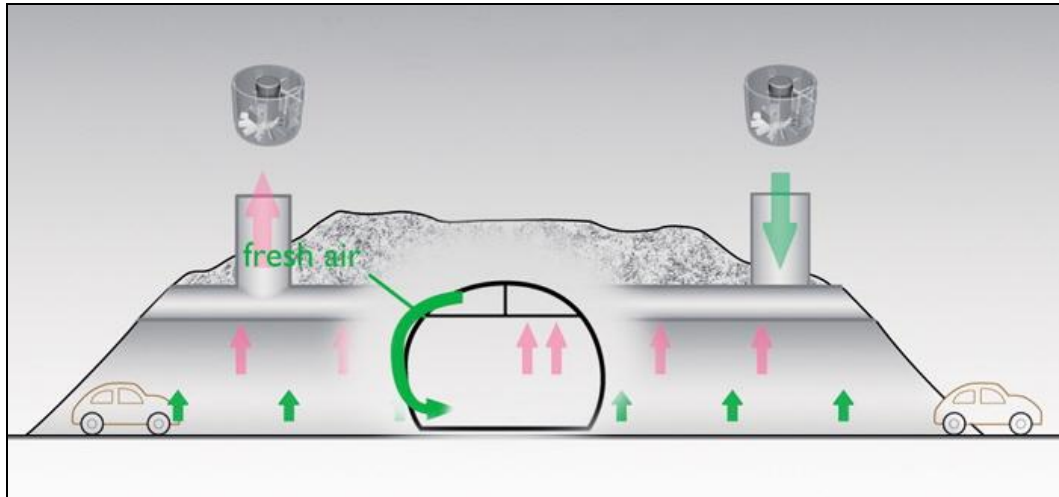
Polupoprečna ventilacija (slika 22) se bazira na kanalu kojim se dovodi svježi zrak u tunel, dok se kroz sami tunel istiskuje zagađeni. Ovaj tip ventilacije zahtjeva dodatne radove na iskopu te određene građevinske radove unutar samog tunela. Povećanje troškova izgradnje tunela sa polupoprečnom ventilacijom može biti do 25 % u odnosu na troškove izgradnje tunela s uzdužnom ventilacijom. [17]



Slika 22. Polupoprečna ventilacija, izvor [20]

Poprečna ventilacija (slika 23), koja se bazira na kanalima za dovod nezagađenog zraka i za odvod zagađenog. Izgradnja navedenih kanala zahtjeva velike građevinske radove u smislu

većeg iskopa, te izrade kanala istih uvjeta kao za sistem polupoprečne ventilacije. Povećanje troškova izgradnje tunela sa poprečnom ventilacijom može biti do 35-40% u odnosu na troškove izgradnje tunela s uzdužnom ventilacijom.



Slika 23. Poprečna ventilacija, izvor [20]

#### 4.3 Sustav vatrodojave

Nekoliko katastrofalnih požara u tunelima (Mount Blanc, Tauern, Gotthard) na dramatičan način su upozorili kako tuneli predstavljaju izrazito rizična mjesta u cestovnom prometu. Prometna nesreća koja na otvorenoj cesti ne mora imati ljudskih žrtava, u tunelu, posebno ako je praćena vatrom, može prerasti u tragediju. Zbog toga se u tunelima moraju primjenjivati osobito stroge mjere zaštite od požara. Efikasna i pouzdana vatrodojava zauzima među tim mjerama veoma značajno mjesto obzirom da je otkrivanje požara u inicijalnoj fazi od presudne važnosti za kasniji tijek spašavanja putnika i očuvanja stabilnosti i cjelovitosti građevine.

Karakteristično za požare u tunelu je da temperatura u blizini mjesta požara raste veoma brzo i dostiže visoke vrijednosti zbog egzotermnosti procesa gorenja, uz zanemarive efekte hlađenja. Požari su u pravilu praćeni s velikom količinom dima koji dodatno otežava gašenje, a materijal koji gori najčešće je sastavni dio vozila (presvlake, plastični dijelovi, gorivo), ili u slučaju kamiona, različiti tereti koji mogu veoma varirati u pogledu kalorične vrijednosti. [22]

Tako je, primjerice, požar u tunelu Mont Blanc iz 1999. godine gorio 53 sata, a temperatura je dosegla 1000°C, uglavnom zbog margarina koji je bio teret u poluprikolici, što je ekvivalent od spremniku benzina od 23.000 litara. Požar se proširio na druga teretna vozila u blizini koja su također prevozila zapaljivi teret. Požar je „zarobio“ oko 40 vozila koji



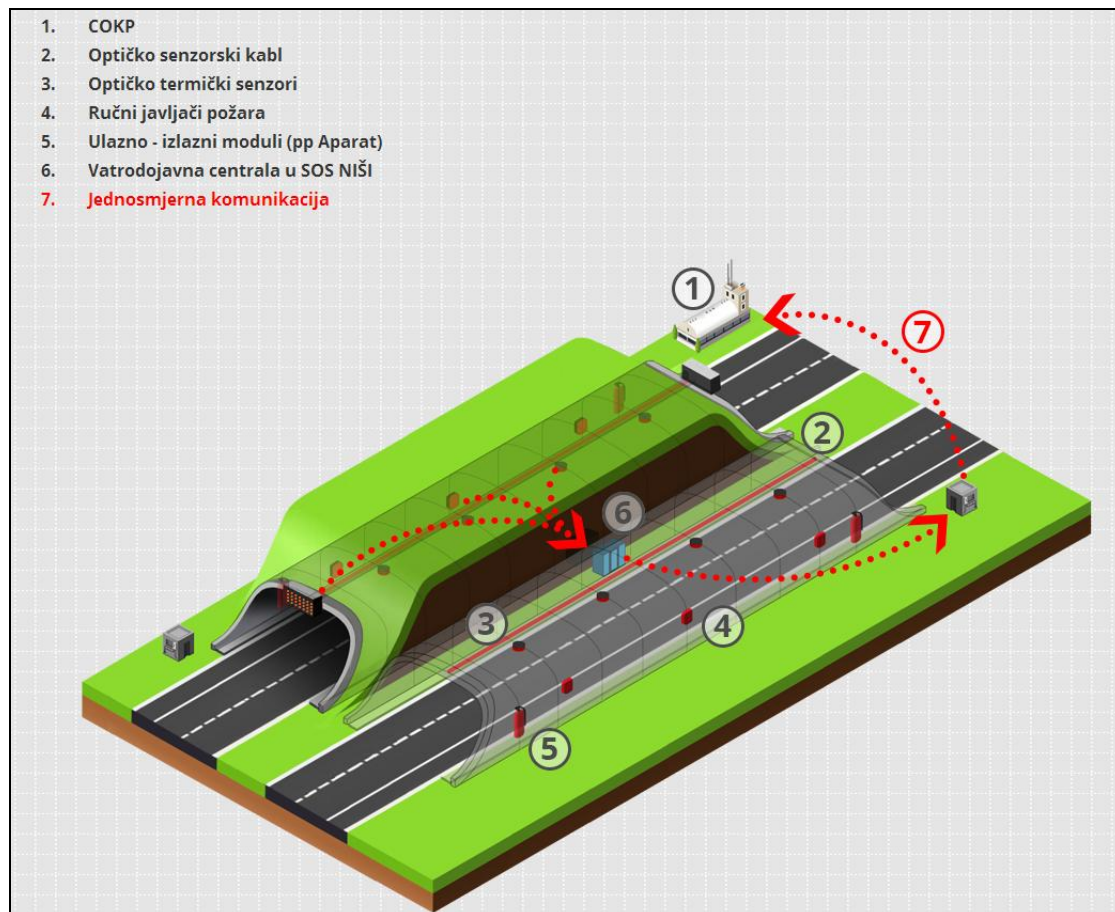
su se ubrzo našli u gustom i otrovnom dimu koji sadrži ugljični monoksid i cijanid. Posljedice požara bile su 27 smrtnih slučajeva u vozilima, a više od 10 osoba je umro pokušavajući pobjeći pješice. Od početnih 50 ljudi zarobljenih u požaru, njih 12 preživjelo, a trebalo je preko pet dana prije nego što se tunel ohladio dovoljno da bi se pristupilo popravcima (slika 24). [23]



Slika 24. Posljedice požara u tunelu Mont Blanc (1999.), izvor [24]

Prethodno spomenute značajke požara u tunelima postavljaju sustavu vatrodjave izazovne zahtjeve. Sustav mora registrirati požar u što kraćem vremenu, mora biti pouzdan i otporan na lažne alarme, te po mogućnosti dati ostale informacije koje mogu biti od pomoći vatrogascima i spasilačkim službama u tunelu. Osnovni elementi vatrodjavnog sustava tunela ne razlikuju se bitno od sustava u nekom drugom objektu. Bitni elementi sustava su (slika 25):

- napajanje,
- vatrodjavna centrala (u pravilu u COKP-i),
- optičko senzorski kabel i optičko termički senzori (automatski javljači požara),
- ručni javljači požara,
- elementi sustava za prosljeđivanje signala požara,
- elementi sustava za upravljanje sustavom za gašenje požara. [22]



Slika 25. Elementi sustava vatrodojave, izvor [25]

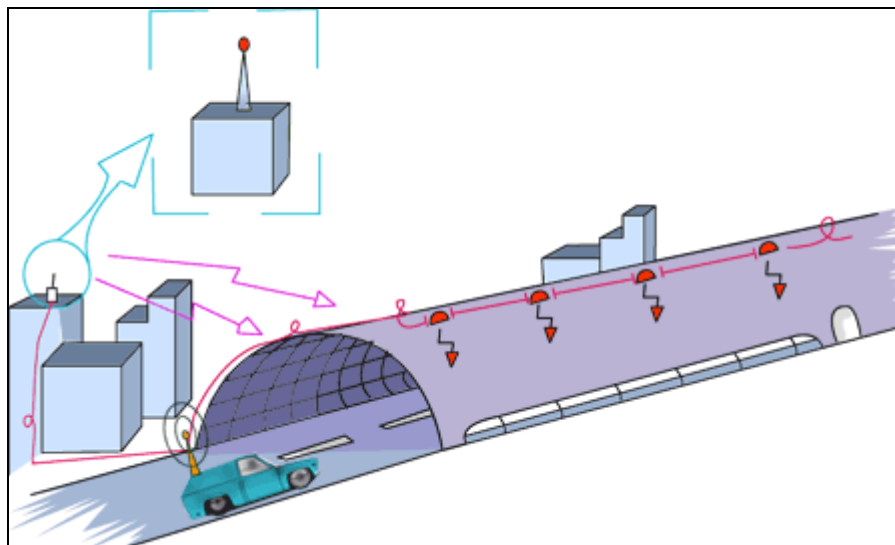
Posebna pažnja kod projektiranja vatrodojave u tunelima mora se posvetiti izboru automatskih javljača. To mogu biti točkasti javljači, ili u novije vrijeme sve zastupljeniji senzorski kabeli (linearni javljači). U pravilu su to javljači koji reagiraju na maksimalnu postavljenu temperaturu, ili temperaturni gradijent. Naime, mada dimni javljači mogu brže detektirati požar, zbog velike zagađenosti zraka u tunelima ispušnim plinovima vozila i prašinom, podložniji su lažnim alarmima. [22]

Svi signali sustava vatrodojave su opremom SDUN-a (sustav daljinskog upravljanja i nadzora) i prenose se u centar daljinskog nadzora i upravljanja. Na razini tunela, signali vatrodojave koriste se za upravljanje ventilacijom, rasvjetom i prosljeđuju se prometnom sustavu kako bi se ostvarilo upravljanje promjenjivom prometnom signalizacijom. Upravljanje s obzirom na signale vatrodojave obuhvaća djelovanje na sustav ventilacije i rasvjete. U slučaju detekcije požara automatski se aktivira požarni režim rada ventilacije te požarni režim rada rasvjete. U požarnom režimu u tunelu, sustav daljinskog upravljanja kontrolira ventilaciju prema posebnom režimu upravljanja, a u skladu s odgovarajućim

projektiranim algoritmima. Također, požarnom režimu u tunelu, sustav daljinskog upravljanja pojačava unutrašnju rasvjetu tunela.

#### 4.4 Sustav radiodifuzije

Sustav radiodifuzije i ozvučenja u tunelima (slika 26) služi za ostvarivanje radio veza između radio stanica unutar tunela, kao i radio stanica u tunelu s vanjskim radiostanicama i upravljačkim centrom. Osnovna namjena sustava je *osiguravanje radio veza za sigurnosne službe*, ali sustav omogućuje i re-emitiranje javnih radio programa, kao i pružanje eventualnih obavijesti korisnicima koji slušaju te programe za vrijeme vožnje tunelom. Sustav radiodifuzije u tunelima sastoji se od: centralne radiofrekvencijske stanice u kontrolnom centru tunela, tunelskih pojačivačkih podstanica, te antenskog i kablenskog sustava. Kao primopredajna antena u tunelu koristi se zračeci kabel. To je posebna vrsta koaksijalnog kabela, koji na vanjskom vodiču ima otvore određenog oblika i rasporeda, koji mu omogućuju radijalno zračenje. Za povezivanje tunelskih pojačivačkih podstanica s centralnom RF stanicom koriste se niti monomodnog svjetlovodnog kabela. [26]



Slika 26. Shema sustava radiodifuzije u tunelu, izvor [26]

U tunelu Učka, koji je naš najduži dvosmjerni tunel (5.062 m), sustav radiodifuzije uveden je 2007. godine. Prvenstvena namjena mu je radio veza službi održavanja tunela, radioveza s policijom, vatrogascima, hitnom pomoći i Državnom upravom za zaštitu i spašavanje (112) u tunelu i izvan njega. Važan je i prijenos javnih FM radioprograma unutar tunela (u Učki se re-emitiraju: HRT-HR 2, Radio Istra i Radio Rijeka – slika 27). [27]



Slika 27. Obavijest o radijskim frekvencijama u tunelu Učka, izvor [27]

Sustav se sastoji od centralne RF stanice smještene u upravnoj zgradi tunela kao centru sustava, putem koje se uspostavljaju veze između radiostanica unutar tunela i njihova komunikacija s vanjskim radiomrežama. U tunelu su izvedene pojačivačke podstanice, kako bi se osigurao jak i ravnomjerno raspoređen signal svim korisnicima, a za distribuciju signala unutar tunela rabi se zračeci kabel, koji prenosi FM, UHF i VHF signale. Pojačivačke podstanice spojene su na zračeci kabel, a optičkim kabelom s centralnom RF stanicom u Centru upravljanja. Ovdje operater raspolaže upravljačkom konzolom te ima mogućnost prekida radio emitiranja kako bi u slučaju potrebe (bilo kakav izvanredni događaj) priključenjem na FM pojačalo putem mikrofona uputio informaciju korisnicima tunela u slučaju nužde. Usporedno s audio signalom, postoji i mogućnost slanja predefiniране digitalne informacije - RDS (Radio Data System), koja se može očitati na zaslonu radio uređaja. Sustav radiodifuzije ostvaruje radio vezu dviju ili više radiostanica unutar tunela te vezu radiostanica u tunelu s vanjskim radiostanicama. [27]

Potrebno je spomenuti u ovom poglavlju i sustav ozvučenja tunela, koji je namijenjen davanju informacija ili uputa korisnicima tunela, koji se u slučaju neke incidentne situacije zaustavljaju u tunelu. Sustav je koncipiran tako da su svi dijelovi tunela ozvučeni dovoljno snažno, pri čemu je razgovjetnost govora takva da uputu operatera mogu čuti i korisnici koji nisu ugasili motor. Operater u kontrolnoj zgradi tunela bira grupe zvučnika preko kojih želi dati informacije. Sustav ozvučenja tunela sastoji se od opreme u kontrolnoj zgradi tunela

(upravljački terminal, razglasna centrala) i opreme u tunelu (tunelske pojačivačke podcentrale, zvučnici, niskonaponski kabelski razvod). [26]

#### 4.5 Telefonsko pozivni sustav

Komunikacijski sustav za SOS veze služi sudionicima u prometu kako bi u slučaju potrebe mogli uputiti pozive za hitnom pomoći na autocesti (npr. poziv za pružanjem medicinske pomoći) nadležnim službama. Osim pouzdane i kvalitetne komunikacije, komunikacijski sustav za SOS veze mora pružati mogućnost uporabe i invalidnim osobama.

Za napomenuti je da su najčešći korisnici TPS sustava, posebice u periodima vršnih opterećenja (ljetna turistička sezona), osobe koje nisu državljani Republike Hrvatske i kojima hrvatski nije materinji jezik (strani turisti). Ovo je posebice važan podatak ako se uzme u obzir da strani državljani pozivom sa SOS stupića ne moraju znati ni oznaku autoceste na kojoj se nalaze, niti ostale prostorne parametre da bi ih se lociralo i što kvalitetnije pružila pomoć, a iz razloga što su centrale TPS sustava smještene u zgradi COKP-e i operaterima omogućuju točnu identifikaciju pozivnog stupića s kojeg se obavlja poziv te eventualno prosljeđivanje poziva nadležnoj službi ili u javnu mrežu. Svaki poziv s SOS stupića prema COKP-i (centrali) se i snima, a SOS stupići postavljaju se s obje strane autoceste, u tunelu i na drugim objektima. Dok se na otvorenim dionicama autocesta SOS stupići postavljaju obostrano na razmaku od 2 km i na udaljenosti 3 m od ruba kolnika tj. zaustavnog traka, u tunelima duljine preko 500 m razmak između pozivnih stupića u pravilu iznosi 250 m (slika 28). [13]



Slika 28. SOS telefon u tunelu, izvor [28]

TPS (telefonski pozivni sustav) se sastoji od:

- telefonskih pozivnih stupića (SOS stupića – slika 28),
- telekomunikacijske veze (žičanih ili svjetlovodnih telekomunikacijskih kabela, GSM, VoIP, GPRS...),
- telefonske SOS centrale. [7]

#### **4.6 Sustav video nadzora i video detekcije**

U ovom poglavlju je potrebno prvenstveno raščlaniti pojmove video nadzora i video detekcije. Video nadzor ima za zadaću omogućiti vizualno praćenje situacije na cesti operateru u COKP-i, ali nema mogućnost automatskog prepoznavanja incidentnih situacija. Kamere koje služe video nadzoru mogu biti statične (fiksne) ili rotirajuće. Video detekcija, s druge strane, služi prvenstveno prepoznavanju incidentnih situacija (zaustavljeno vozilo, vožnju u krivom smjeru, dim, rasuti teret i slično), a sekundarno i video nadzoru. Sustav video detekcije ujedno se naziva i AID (eng. **A**utomatic **I**ncident **D**etection – automatsko prepoznavanje/detekcija incidentnih situacija). Ukoliko kamere video detekcije zabilježe incidentni događaj, aktiviraju se predefinirani algoritmi, ovisno o lokaciji na kojoj je zabilježen incident, ali i vrsti incidenta. Algoritmi su detaljnije opisani u poglavlju 4.7, a u kontekstu video nadzora treba napomenuti kako će se kamere video nadzora fokusirati na područje za koje se aktivirao alarm, a kako bi operater u COKP-i imao što kvalitetniji vizualni uvid u prometnu situaciju.

Sustav se sastoji od kamera, kartica za procesiranje video signala (kartice za video detekciju), komunikacijske opreme, snimača (video rekordera), upravljačke konzole i monitora video nadzora. Kamere mogu biti statičke (fiksne) ili rotirajuće (eng. PTZ – pan tilt zoom). Statičke kamere u pravilu imaju i mogućnost zumiranja, a uglavnom se koriste za video detekciju, dok rotirajuće kamere služe isključivo video nadzoru. U tunelima se koriste i fiksne i rotirajuće kamere, s tim da se kamerama za video detekciju pokriva cijela tunelska cijev (broj kamera ovisi o dosegu kamere). Snimljeni materijal se procesira u karticama za video detekciju te se aktiviraju određeni, unaprijed definirani alarmi, ovisno o detekciji incidenta. Video signal se prenosi u COKP-e, pohranjuje na snimačima u periodu od 3 dana, a u realnom vremenu služi operaterima za vizualnu potvrdu stanja na cesti (odnosno u tunelu) ili alarma. Operateri sliku s video kamere vide na monitorima video nadzora (slike 29 i 30), s napomenom kako se na „glavnom“ monitoru prikazuje slika s one kamere koja ima aktivan

alarm. Pomoću upravljačke konzole operateri mogu mijenjati prikaz kamere na „glavnom“ monitoru, ali i upravljati s pojedinom kamerom (rotacija, zumiranje). [13]



Slika 29. Monitori video sustava u COKP-i Delnice na autocesti A6, Autocesta Rijeka – Zagreb d.d., izvor [13]



Slika 30. Monitori i upravljački modul video sustava tunela Učka, izvor [29]

U tunelima koji imaju kontrolni centar (COKP) moraju se postaviti video sustavi praćenja i sustav za automatsko otkrivanje prometnih nesreća. Video sustavi moraju omogućiti detekciju zaustavljenog vozila i pojavu dima, a u jednosmjernim tunelima i detekciju vožnje u suprotnom smjeru. Sustav video nadzora mora omogućiti kontrolnom centru neprekidno praćenje stanja u ulazno/izlaznoj zoni tunela kao i u cijelom tunelu. U području vrata za poprečne prolaze moraju se postaviti rotacijske kamere s mogućnošću zumiranja. Prilikom izvanrednih događaja, slika na ekranu kontrolnog centra mora se automatski prebaciti na kameru koja je postavljena u blizini izvanrednog događaja. Za izvanredne događaje mora postojati alarmni monitor na kojem se automatski pokazuju slike s kamera na mjestu događaja te slike s kamera ispred i iza događaja. U tunelima koji nemaju

kontrolni centar, a kod kojih je rad mehaničke ventilacije za kontrolu dima različit od automatskog rada ventilacije za kontrolu zagađivača, moraju se postaviti automatski sustavi za otkrivanje požara. [5]

#### 4.6.1. AID - Automatic Incident Detection (automatsko prepoznavanje/detekcija incidentnih situacija) – studija slučaja tunel Učka

Kvaliteta video sustava važan je sigurnosni element tunela Učka. Praksa je pokazala da brza i kvalitetna reakcija operatera u nadzornom centru često znači i spašavanje života prilikom prometnih nezgoda i drugih incidenata na cesti. Upravo je video sustav taj koji slikom i zvučnim signalom obavještava operatera o incidentu. Potom operater poduzima daljnje aktivnosti u cilju otklanjanja posljedica incidenta što u konačnici daje povećanu sigurnost za sve sudionike u prometu. Sustav se može programirati i tako da se u ekstremnim incidentnim situacijama utjecaj ljudskog faktora svede na minimum. [29]

Video sustav praćenja i automatskog otkrivanja prometnih nezgoda (engleski: Automatic Incident Detection – AID) obuhvaća cjelokupnu opremu sustava, kako u tunelu tako i u nadzornom centru. Incidenti koje AID sustav u tunelu Učka detektira i za koje prosljeđuje alarmne signale su:

- zaustavljeno vozilo u tunelu,
- prepreke na kolniku (pješak, ispali teret i slično – slika 31),
- dim u tunelu (slika 32),
- neočekivano male brzine kretanja vozila,
- vožnja u suprotnom smjeru,
- rasuti teret.



Slika 31. Video detekcija rasutog tereta i pješaka, izvor [30]





Slika 32. Video detekcija dima (podjela vidnog polja po zonama), izvor [31]

Sustav se temelji na fiksnim kamerama u tunelu čiji se signal spaja na procesorske kartice s implementiranim algoritmima za analizu video signala, te kamerama s mogućnošću rotacije i zoom-a na portalnim površinama tunela. Instalirane su 83 kamere od kojih 2 s rotacijom i zoom-om te 75 kamera s video strojnom detekcijom i 6 kamera u okretnicama tunela. Vidna polja susjednih kamera na kojima se vrši automatska detekcija incidenta se preklapaju, čime se isključuje mogućnost tzv. "mrtvih zona" odnosno područja u kojima nije moguće vršiti detekciju.

Prilikom detekcije incidentne situacije sustav automatski šalje alarmni signal s kamere koja vizualno pokriva prostor u kojem je nastao incident prema sustavu daljinskog vođenja prometa. Nakon obrade primljenog signala sustav daljinskog vođenja prometa vraća alarm na matricu, koja na osnovu primljenog alarma prosljeđuje video signal kamere na predviđen monitor, te time omogućuje operateru da pravodobno i korektno reagira na nastalu incidentnu situaciju.

## 4.7 Prometno informacijski sustav

Iako su svi sustavi u tunelima podjednako bitni te nije moguće funkcije jednog sustava zamijeniti drugim sustavom, prometno informacijski sustav je u smislu vođenja prometa i davanja uputa i naredbi korisnicima tunela zasigurno najvažniji sustav. Svi podaci koji se prikupljaju i procesiraju u konačnici rezultiraju i određenom informacijom koju je potrebno proslijediti korisnicima tunela. Primjerice, u slučaju požara AID kamere će prepoznati dim, linijski detektori protupožarnog sustava prepoznat će povećanje temperature, a detektori kvalitete zraka detektirat će povećan broj štetnih čestica u zraku. Predmetni podaci pokrenut će scenarije koji će aktivirati alarm na protupožarnom sustavu, kamere će se usmjeriti na mjesto požara/dima, a sustav ventilacije će dim „tjerati“ van iz tunela. Nastavno na prethodno napisano, jednako važno je i vozačima, odnosno korisnicima tunela, signalizirati nailazak na opasnost. Stoga je u tunelima za svaki događaj koji predmnijeva odstupanje od „normalnih“ uvjeta u algoritmu postupanja zadana i aktivacija određenih elemenata prometno informacijskog sustava. [13]

Prometno informacijski sustav se sastoji od:

- brojača (detektora) prometa (a na otvorenim dionicama ceste i meteo postaja),
- cestovnih prometnih stanica (CPS),
- promjenjivih prometnih znakova (najčešće svjetlosnih izvedenih u LED tehnologiji),
- opreme za zatvaranje tunela,
- opreme i programskih rješenja u COKP-i.

### 4.7.1. Brojači (detektori) prometa

Detektori prometa su uređaji koji broje i klasificiraju vozila te pomoću kojih se dobivaju podaci o karakteristikama prometnog toka (volumen, gustoća i brzina). U pravilu su to parovi induktivnih petlji (slika 33). Isti su spojeni na detektorske kartice koje se nalaze u CPS-ima, a podaci o broju vozila i klasi pojedinih vozila pohranjuju se na računala u COKP-ama te kasnije mogu služiti za prometno planiranje i izradu prometnih modela i simulacija.



Slika 33. Brojači prometa, izvor [32]

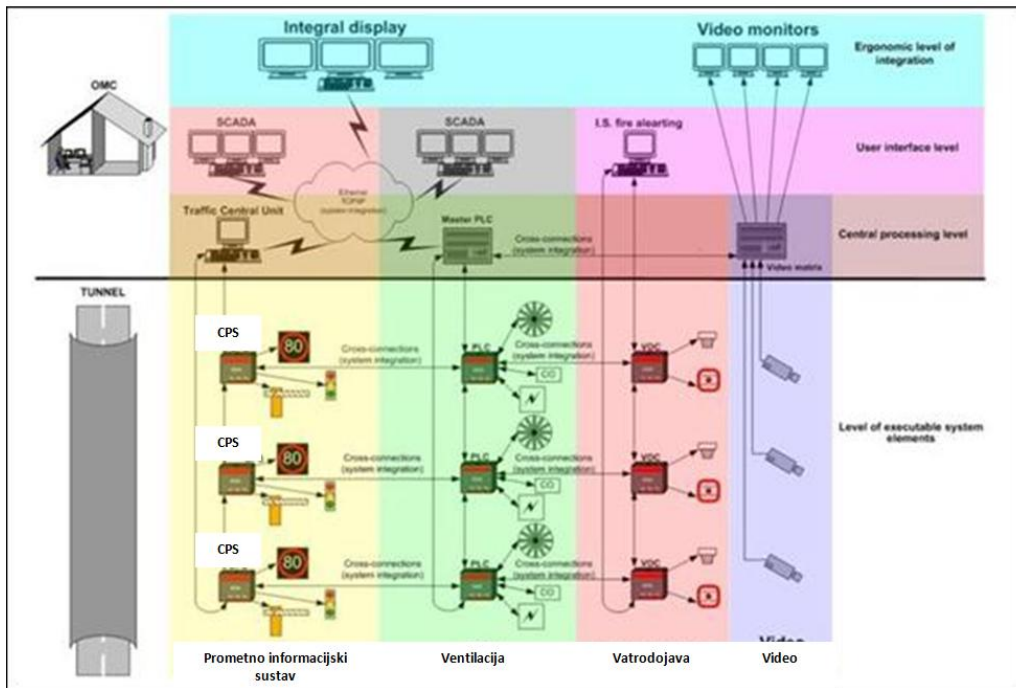
Osim induktivnih petlji, moguće je koristiti i druge tehnologije za brojanje prometa, primjerice mikrovalne detektore koji rade na principu Dopplerovog efekta, ili video detektore, ali njihova primjena u Republici Hrvatskoj nije toliko učestala kao što je slučaj s induktivnim petljama.

Kod incidentnih situacija dolazi do poremećaja u harmonizaciji prometnog toka, što se očituje u skokovitom smanjenju brzine prometnog toka te se aktivira alarm operaterima u COKP-i za kontrolu situacije (provjera uzročnika smanjenja brzine prometnog toka).

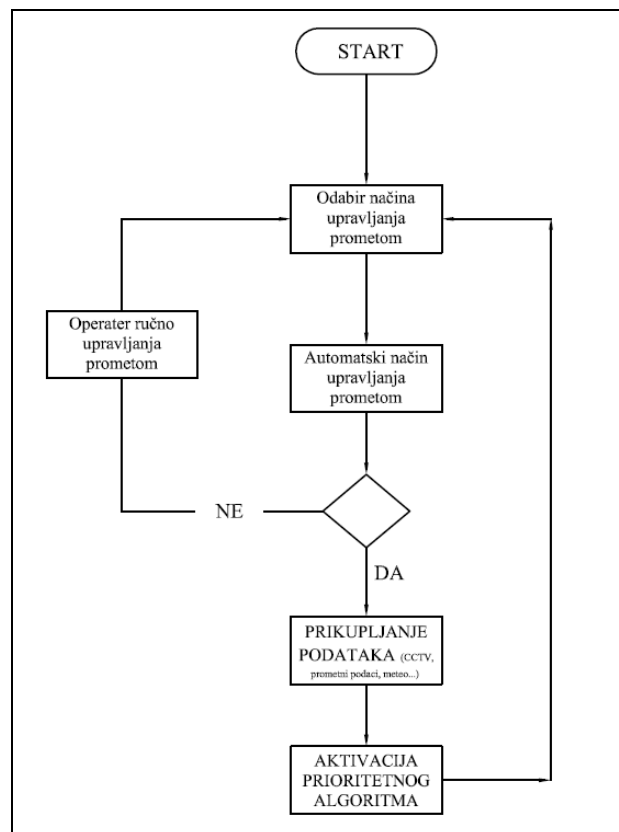
Ukoliko je gustoća prometa, odnosno prometna potražnja, takva da uzrokuje postepeno smanjenje brzine prometnog toka, cestovna prometna stanica, koja obrađuje podatke s brojača prometa te na osnovu istih aktivira promjenjivu signalizaciju, smanjiti će ograničenje brzine na promjenjivim prometnim znakovima na 80, 60 ili 40 km/h.

#### 4.7.2. Cestovne prometne stanice (CPS)

Cestovne prometne stanice (CPS) još se nazivaju i daljinske stanice (DS) te lokalni uređaji (LU). U pravilu je na logičkom obuhvatu (primjerice tunel), koji mora raditi sinkronizirano (dakle, CPS-i moraju uvjetovati rad cijelom logičkom sklopu upravljačke opreme, primjerice SPZ-a) jedan CPS „master“, dok su ostali „slave“, odnosno podstanice (CPPS). CPS-i osim što prikupljaju i obrađuju podatke s brojača prometa te upravljaju radom promjenjive prometne signalizacije, ujedno i komuniciraju s ostalim procesorsko – upravljačkim jedinicama prethodno nabrojanih i opisanih podsustava (vatrodojava, video, ventilacija) i COKP-om (slika 34). CPS će aktivirati pojmove na promjenjivim prometnim znakovima ovisno o sigurnosnim prioritetima, a prema predefiniranim algoritmima rada. Također, CPS-i upravljaju i opremom za zatvaranje tunela. Na slici 35 je prikazan „bazni“ algoritam rada CPS-a. [13]



Slika 34. Prikaz opreme i sustava – horizontalna i vertikalna podjela, izvor [13]



Slika 35. Bazni (početni) algoritam rada CPS-a, izvor [13]

CPS-i informacije na cesti prenose korisnicima putem promjenjivih prometnih znakova. Svi prometni znakovi i oprema koji kao izvor napajanja koriste električnu energiju, moraju biti spojeni na rezervni izvor napajanja (UPS). [5]

#### 4.7.3. Promjenjivi prometni znakovi

Kad je zbog prometne sigurnosti ili prometno-tehničkih zahtjeva potrebno, prometni znakovi u cijelosti ili djelomice mogu biti izvedeni kao promjenljivi znakovi. Prometni promjenljivi znakovi prema izvedbi mogu biti kontinuirani i nekontinuirani.

Kontinuirani su znakovi oni znakovi koji su izgledom jednaki stalnim prometnim znakovima, a jedina je razlika da uporabom elektromehaničkih sredstava mogu prikazivati različite poruke (slika 36).



Slika 36. Kontinuirani promjenljivi prometni znakovi (prizmatski), izvor [13]

Nekontinuirani znakovi su oni znakovi kod kojih je moguća inverzija boja i pojednostavljen prikaz simbola u odnosu na stalne prometne znakove. Ti znakovi oblikuju poruke uporabom pojedinačnih elemenata koji mogu biti u jednome od dva stanja (ili više), čime mogu oblikovati različite poruke na istoj prednjoj površini znaka.

Nekontinuirani znakovi mogu se izvesti u tehnologiji:

- 1) optičkih vlakana (fiber – optics);
- 2) svjetlosnih polja, dodanih na obične znakove;
- 3) svjetlećih dioda (LED – slika 36 – najčešće u upotrebi u RH),
- 4) tekućih kristala (LCD). [6]



Slika 37. Svjetlosni promjenjivi znakovi (SPZ), izvor [13]

Kad su prometni znakovi izvedeni kao promjenljivi, ne smiju se razlikovati od prometnih znakova stalnog značenja. Ako se znakovi prikazuju svjetlećim ili drugim diskretnim elementima prikaza, tehnički uvjetovana pojednostavnjenja prikaza dopuštena su samo uz uvjet da ostanu očuvani bitni elementi i svojstvena obilježja znakova.

Promjenjivi prometni nekontinuirani znak ili dio znaka u slučaju kvara jednog dijela znaka ili pregaranja izvora svjetlosti ne smije promijeniti svoje značenje, odnosno mora biti bez signalnog pojma (nulto stanje). Tijekom normalnih uvjeta vožnje na cesti, signalni pojmovi na promjenljivim prometnim nekontinuiranim znakovima moraju biti ugašeni. Kad se predviđa ili nastane promjena normalnih uvjeta vožnje na cesti, ovisno o nastalim promjenama, automatski se uključuje za to predviđeni signalni pojam koji mora biti u funkciji do ponovne uspostave normalnih uvjeta vožnje.

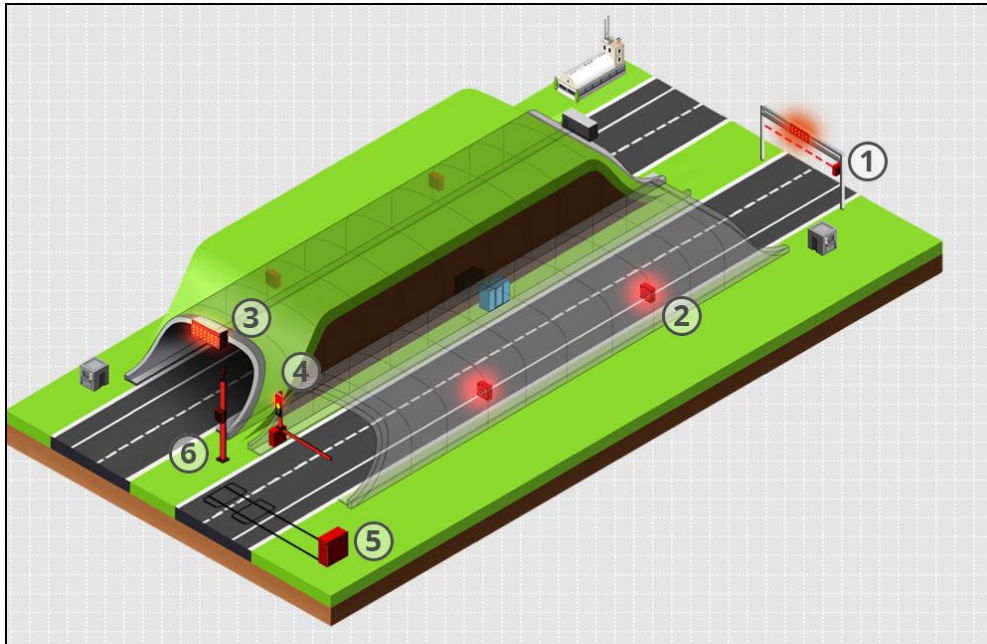
Kad se svjetlosni prometni znakovi izvode u tehnologiji optičkih vlakana (fiber-optics), svjetlosnih polja, svjetlećih dioda (LED) i tekućih kristala (LCD) moraju zadovoljiti određene uvjete:

- 1) značenje simbola mora biti jasno s udaljenosti najmanje 150 m,
- 2) simbol mora biti u cijelosti čitljiv na udaljenosti manjoj od 150 m,
- 3) svjetlosni intenzitet svjetlosnoga prometnog znaka mora se prilagoditi svjetlosnim uvjetima okoliša i mora biti omogućen noćni model rada. [6]

Svi prometni znakovi i oprema koji kao izvor napajanja koriste električnu energiju, moraju biti spojeni na rezervni izvor napajanja (UPS). [5]

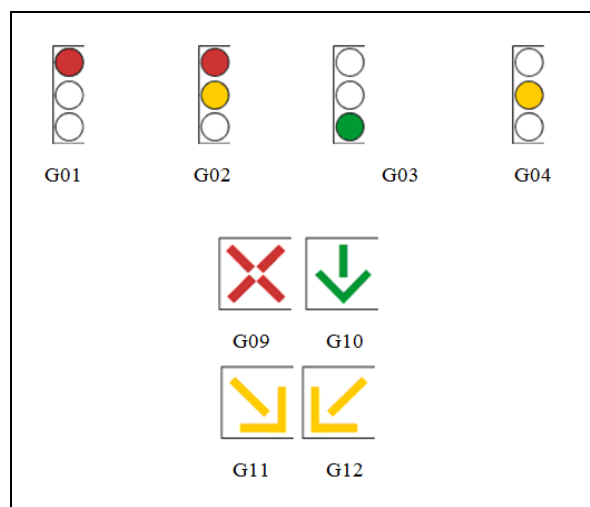
#### 4.7.4. Oprema za zatvaranje tunela

U tunelima duljine veće od 1.000 m moraju se postaviti prometna svjetla ispred ulaza, tako da se tunel može zatvoriti u slučaju nužde te postaviti dodatnu opremu, primjerice promjenljive prometne znakove i branike (slika 37).



Slika 38. Oprema za zatvaranje tunela, izvor [25]

U tunelima duljim od 3.000 m koji imaju kontrolni centar i prometno opterećenje veće od 2.000 vozila po prometnoj traci na dan, koristi se oprema za zaustavljanje vozila u slučaju nužde na razmacima ne većim od 1.000 m, koji su zasebna požarna cjelina. Opremu čine prometni znakovi te dodatna sredstva kao što su zvučnici, promjenjivi prometni znakovi, prometna svjetla, branici i dr (slika 38), a primjer zatvaranja tunela prikazan je na slici 40.



Slika 39. Prometna svjetla, izvor [6]



Slika 40. Zatvaranje tunela aktivacijom tunelske opreme, izvor [13]

#### 4.7.5. Oprema i programska rješenja u COKP-i

U tunelima duljine veće od 3.000 m i s prometnim opterećenjem većim od 2.000 vozila po prometnoj traci na dan mora se izvesti kontrolni centar i rezervni kontrolni centar (COKP – slika 41). Jedan kontrolni centar može obavljati nadzor nad više tunela. [5]

Kontrolni centar mora preuzeti nadzor i upravljanje tunelom kada:

- prometni parametri dosegnu kritične veličine (u tunelu ili u zoni ispred tunela),
- uvjeti u okolišu ugrožavaju sigurnost prometa (slaba vidljivost, visoka koncentracija CO i dr.),
- u slučaju pojave izvanrednih nepredvidivih ili predvidivih događaja (radovi na cesti, prometna nesreća, požar, dvosmjerni promet i dr.).

Oprema u COKP-ama koja je dio prometno informacijskog sustava sastoji se od:

- serverskog računala prometno informacijskog sustava,
- radnih stanica operatera,
- video zida (ili monitora).[13]





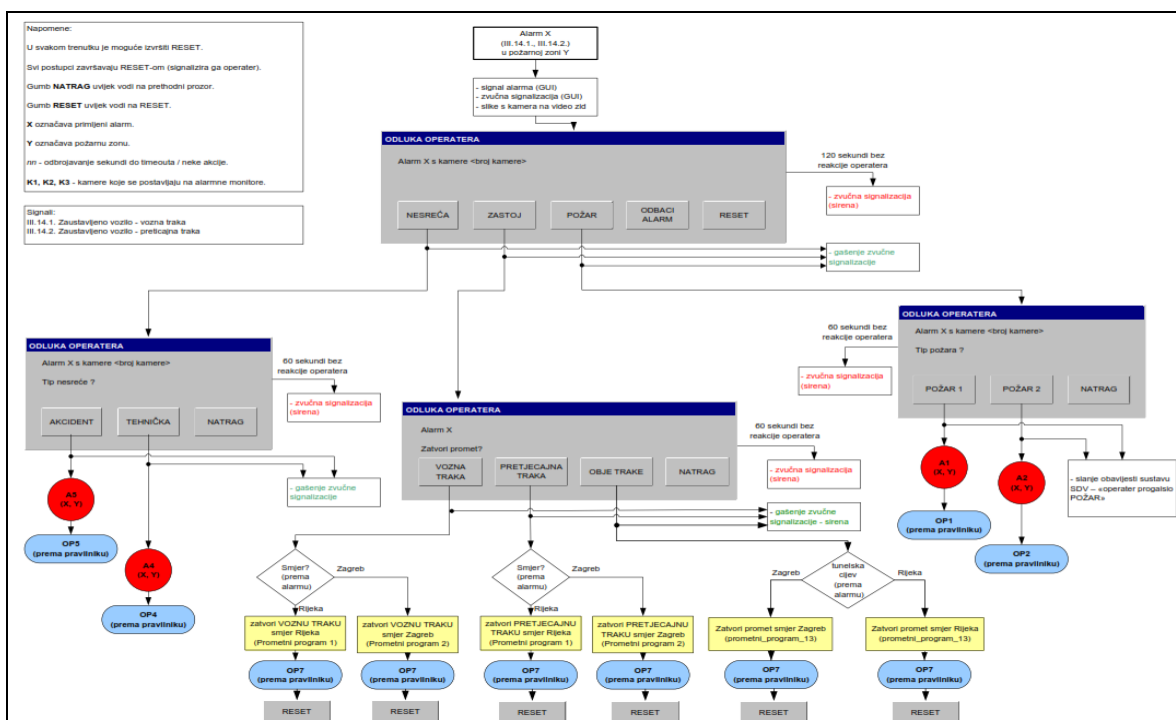
Slika 41. COKP tunela Gotthard (Austrija), izvor [33]

Programska rješenja prometno informacijskog sustava bazirana su na SCADA principu (eng. SCADA = supervisory control and data acquisition). U COKP-ama na svim autocestama programsko rješenje koje se koristi je ono proizvođača Telegra d.o.o. naziva top-X-view. Svrha je putem scenarija i algoritama (dijagrama toka) mogućih događaja za daljinsko vođenje prometa kroz tunel planski pripremiti software i hardware opreme i operativnog osoblja COKP-a za brzo i djelotvorno postupanje u trenutku nastupa pojedinog događaja u tunelu. Scenariji obuhvaćaju predviđene događaje u redovnom radu i u izvanrednim situacijama. Scenariji izvanrednih situacija izrađuju se individualno za svaku pojedinu zonu u tunelima i rade na slijedeći način: čeka se signal koji potiče na neku reakciju putem algoritama ili čeka na pobudu od strane operatera, nakon čega se startaju predviđeni scenariji. Predviđene scenarije i algoritme izvođač je dužan implementirati u integracijski software koji će upravljati prometno – informacijskim sustavom (top-X-view), video sustavom nadzora i upravljanja, sustavom daljinskog upravljanja i nadzora (SDUN), vatrodajvnim sustavom, SOS sustavom te sustavom radiodifuzije s prikazom na integracijskom video zidu.

Scenariji i algoritmi podijeljeni su na 4 glavna poglavlja, od kojih svako sadrži određen broj pojedinačnih scenarija:

- scenariji i algoritmi redovnog pogona,
- scenariji i algoritmi mogućih kvarova,
- scenariji i algoritmi mogućih akcidentnih situacija,
- scenariji i algoritmi održavanja. [34]

Primjer scenarija aktiviranog alarmom na kameri video sustava prikazan je na slici 42.



Slika 42. Algoritam rada aktiviran alarmom na kameri, izvor [13]

## **5. PRIJEDLOZI POBOLJŠANJA POSTOJEĆIH SUSTAVA ZA UPRAVLJANJE PROMETOM U TUNELIMA**

Svi sustavi, oprema, programska rješenja i načini upravljanja tunelima uvijek se mogu nadograditi, zamijeniti, ili jednostavno rečeno optimizirati kako bi sigurnost u tunelima bila što veća. U nastavku će se elaborirati nekoliko prijedloga poboljšanja postojećih sustava, a radi se o sljedećim:

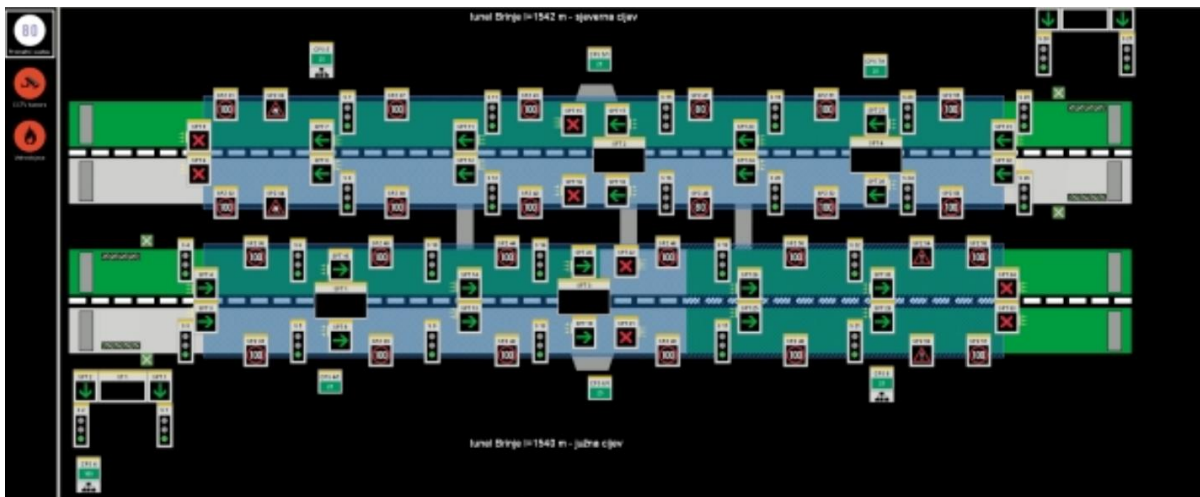
- optimizacija prometnih znakova, signalizacije i opreme ispred tunela i u tunelu,
- implementacija sustava automatskog nadzora brzine u tunelima,
- implementacija sustava detekcije temperature pneumatika i motora vozila (ispred tunela),
- implementacija sustava detekcije vozila koja prevoze opasne terete,
- zamjena postojećih rasvjetnih tijela s rasvjetnim tijelima u LED tehnologiji.

### **5.1 Optimizacija prometnih znakova, signalizacije i opreme ispred tunela i u tunelu**

Prometni znakovi, signalizacija i oprema na cestama postavljaju se sukladno prometnom elaboratu koji se izrađuje prema Pravilniku o sadržaju, namjeni i razini razrade prometnog elaborata za ceste. Određene prometne znakove predmnijeva i Pravilnik o minimalnim sigurnosnim zahtjevima za tunele. Međutim, upitna je optimalna kvantiteta signalizacije na određenom geografskom prostoru koju vozači zaista mogu percipirati te kvaliteta i procesiranje informacija. Na slici 43 prikazan je prilaz tunelu Tuhobić sa dijelom prometnih znakova, signalizacije i opreme ispred tunela i u tunelu, a na slici 44 je prikaz svjetlosnih promjenjivih prometnih znakova u tunelu Brinje ( $L = 1.540\text{m}$ ).



Slika 43. Prometni znakovi, oprema i signalizacija ispred tunela Tuhobić, autocesta A6, izvor [13]



Slika 44. Svjetlosna promjenjiva signalizacija u tunelu Brinje, autocesta A1, izvor [13]

## 5.2 Implementacija sustava automatskog nadzora brzine u tunelima

Od svih pogrešaka vozača koje rezultiraju prometnom nesrećom, „brzina“, odnosno nepropisna brzina i brzina neprimjerena uvjetima na cesti, najčešće su pogreške vozača koje za posljedicu imaju nesreće s nastradalim osobama. Dokaz tome je i podatak za 2014. godinu u kojoj je broj poginulih u prometnim nesrećama bio rekordno nizak i iznosio je 308 poginulih, odnosno 17% manje u odnosu na 2013. godinu, ali je postotak onih koji su poginuli pogreškom vozača, u vidu nepropisne i neprimjerene brzine, u postotnom porastu udjela od ukupnog broja poginulih (tablica 2).

Tablica 4: Prikaz podjele pogrešaka vozača kao okolnosti koja je prethodila prometnim nesrećama za 2013. i 2014. godinu, izvor: [36]

Pogreške vozača	Nesreće s nastradalim osobama			Poginuli		Ozlijeđeni	
	2013.	2014.	+ - %	2013.	2014.	2013.	2014.
Nepropisna brzina	311	329	+5,8	15	15	407	438
Brzina neprimjerena uvjetima	3.533	3.195	-9,6	151	126	5.008	4.418
Vožnja na nedovoljnoj udaljenosti	822	864	+5,1	12	11	1.188	1.229
Zakašnjelo uočavanje opasnosti	101	79	-21,8	3	6	127	101
Nepropisno pretjecanje	313	271	-13,4	16	10	447	411
Nepropisno oblaženje	90	108	+20,0	3	1	102	116
Nepropisno mimolaženje	87	83	-4,6	4	2	139	125
Nepropisno uključenje u promet	529	544	+2,8	3	5	669	652
Nepropisno skretanje	458	430	-6,1	6	3	581	570
Nepropisno okretanje	45	46	+2,2	1	1	57	61
Nepropisna vožnja unazad	232	192	-17,2	2	1	240	220
Nepropisno prestrojavanje	121	110	-9,1	1	1	167	159
Nepoštivanje prednosti prolaza	1.816	1.618	-10,9	29	26	2.688	2.351
Nepropisno parkiranje	7	7	0,0	1		10	7
Naglo usporavanje - kočenje	30	20	-33,3		1	31	26
Nepoštivanje svjetlosnog znaka	225	213	-5,3	9	2	324	325
Neosiguran teret na vozilu	3	8	+166,7			3	8
Nemarno postupanje s vozilom	60	77	+28,3	2	2	71	89
Ostale pogreške vozača	1.280	1.259	-1,6	56	46	1.535	1.465
Nepropisno kretanje voz.na kolniku	663	682	+2,9	35	33	908	943
<b>UKUPNO</b>	<b>10.726</b>	<b>10.135</b>	<b>-5,5</b>	<b>349</b>	<b>292</b>	<b>14.702</b>	<b>13.714</b>

Istraživanje provedeno u Njemačkoj pokazalo je da je veća brzina vozila u naseljenim mjestima ujedno implicira i učestalija ubrzanja, usporenja i kočenja, čime se povećava onečišćenje zraka. Njemačka istraživanja pokazuju i da smirivanje prometa smanjuje vrijeme čekanja za 15%, broj izmjena stupnja prijenosa za 12%, korištenje kočnice za 14% te

potrošnju goriva za 12%. Čak i agresivne vožnje pod nižim ograničenjima brzine proizvode niže emisije (ali veću upotrebu goriva) nego pod višom brzinom ograničenja. [37]

Autocesta Rijeka-Zagreb d.d. je sredinom siječnja 2015. godine u tunelu Tuhobić (južna tunelska cijev – smjer Zagreb) instalirala kameru za mjerenje brzine i raspoznavanje registarskih oznaka s ciljem analize karakteristika prometnog toka. Kamerom su se prikupljali podaci s obje prometne trake, a podaci su prikupljeni do početka ožujka, kada je kamera deinstalirana. Na preko 100.000 prikupljenih podataka, prosječna brzina prometnog toka u tunelu iznosila je oko 100 km/h, što je ujedno i ograničenje brzine u tunelu Tuhobić postavljeno stalnim prometnim znakom. Oko 84 % vozila kretalo se desnom (voznom) prometnom trakom, dok se 14 % vozila kretalo lijevom (pretjecajnom) prometnom trakom.

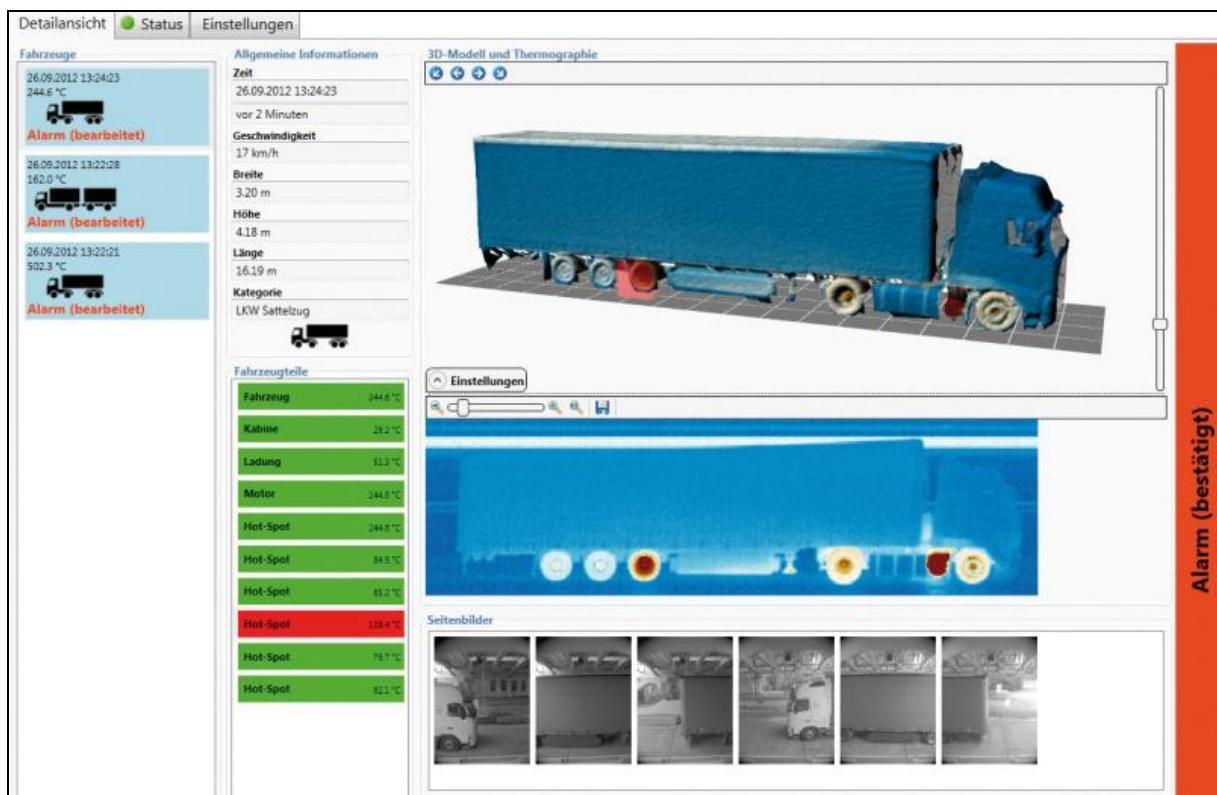
Ograničenje brzine postavljeno stalnim prometnim znakom od 100 km/h poštivalo je oko 53 % vozača, dok se njih 47% kretalo brzinom većom od 100 km/h. Međutim, kako se tunel Tuhobić nalazi na autocesti A6 između čvorišta Orehovica i Kikovica, gdje su zbog vjetra i snijega česta ograničenja prometa kako za pojedine skupne vozila, tako i za sav promet, te samim time i česta smanjenja ograničenja brzine putem svjetlosnih prometnih znakova, i u tunelu je neophodno putem svjetlosnih prometnih znakova (SPZ-a) smanjivati ograničenje brzine s ciljem sprečavanja ulaska vozila u zimske uvjete ili uvjete orkanskog vjetra s brzinom neprilagođenom uvjetima na cesti. Tipičan takav dan bio je i petak, 30. siječnja 2015. godine, kada su na dionici od Bosiljeva do Kikovice bili zimski uvjeti, a od Tuhobića do Kikovice i olujni udari vjetra. Stoga su i ograničenja brzine u tunelu tijekom dana bila 80, 60 pa čak i 40 km/h. Međutim, i u ovim uvjetima je prosječna brzina prometnog toka iznosila čak 93 km/h, a ograničenje od 40 km/h je poštivalo svega 2 vozača! Alarmantan je podatak da je tijekom perioda prikupljanja podataka zabilježeno nekoliko brzina iznad 190 km/h, a rekorder se kretao brzinom od čak 196 km/h. [13]

Nastavno na gore navedeno, kao logično rješenje nameće se implementacija automatskog sustava nadzora brzine.

### 5.3 Implementacija sustava detekcije temperature pneumatika i motora vozila (ispred tunela)

Prometna nesreća s najtragičnijim posljedicama u tunelima je ona u tunelu Mont Blanc iz 1999. godine. Požar je gorio 53 sata, a temperatura je dosegla 1000°C, uglavnom zbog margarina koji je bio teret u poluprikolici, što je ekvivalent od spremniku benzina od 23.000 litara. Požar se proširio na druga teretna vozila u blizini koja su također prevozila zapaljivi teret, a „zarobio“ je oko 40 vozila koji su se ubrzo našli u gustom i otrovnom dimu koji sadrži ugljični monoksid i cijanid. Posljedice požara bile su 27 smrtnih slučajeva u vozilima, a više od 10 osoba je umro pokušavajući pobjeći pješice. Od početnih 50 ljudi zarobljenih u požaru, njih 12 preživjelo, a trebalo je preko pet dana prije nego što se tunel ohladio dovoljno da bi se pristupilo popravcima. Sam požar dogodio se pregrijavanjem motora teretnog vozila koje nije detektirano na vrijeme.[23]

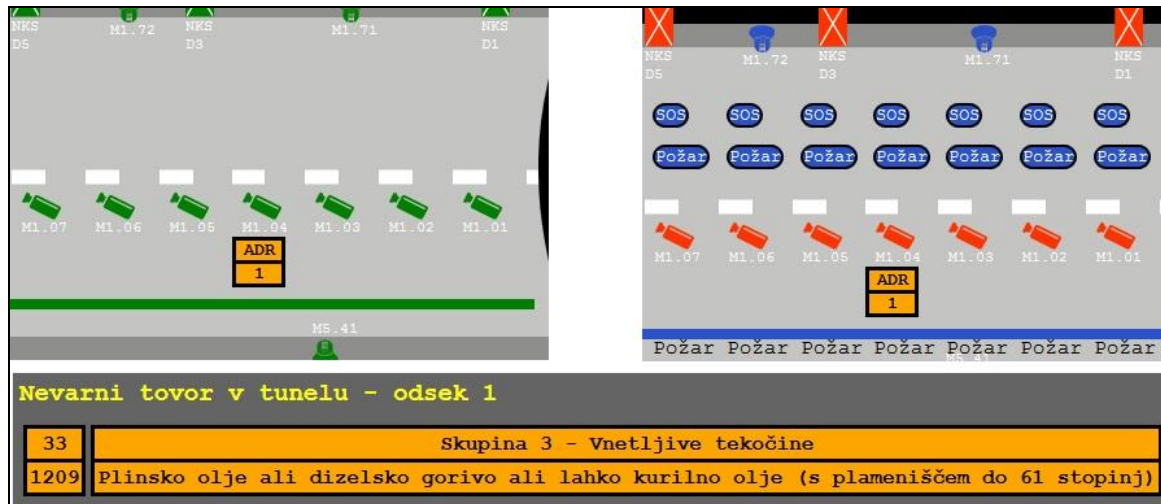
Nakon prometne nesreće u Mont Blancu uvedena je praksa implementacije sustava detekcije temperature pneumatika i motora vozila ispred tunela gdje se na vrijeme takvo vozilo može zaustaviti ispred tunela te alarmirati sve službe na rizik od požara. Prikaz detekcije temperature pneumatika i motora vozila ispred tunela je na slici 45.



Slika 45. Detekcija temperature pneumatika i motora ispred tunela, izvor [13]

## 5.4 Implementacija sustava detekcije vozila koja prevoze opasne terete

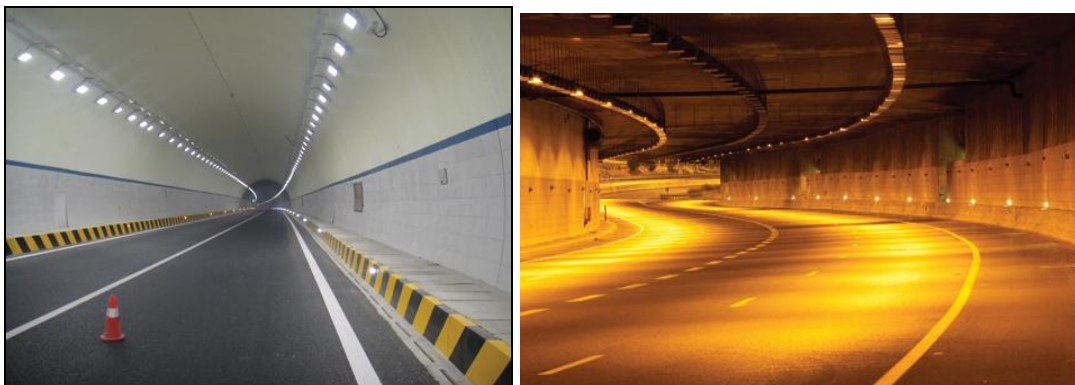
Prometne nesreće u kojima sudjeluju vozila koja prevoze opasne tvari potencijalno mogu imati znatno teže posljedice, posebice u tunelima. Stoga se u pojedine tunele ugrađuju sustavi za prepoznavanje ADR oznaka (pločica) koje upozoravaju da se tunelom kreće vozilo koje prevozi opasne tvari. Također, očitavaju se skupina i vrsta opasne tvari (slika 46).



Slika 46. Detekcija ADR oznake, izvor [39]

## 5.5 Zamjena postojećih rasvjetnih tijela s rasvjetnim tijelima u LED tehnologiji

Najveći potrošači električne energije u tunelima su rasvjetna tijela. Investicija u LED rasvjetu, prema iskustvima, otplati se kroz smanjenje potrošnje električne energije u roku četiri godine. Jedna „klasična“ lampa troši 400 vati, a LED rasvjeta nekoliko puta manje, sa značajno dužom trajnošću. Prednosti se očituju i u kvaliteti osvjjetljenja, uniformnom osvjjetljenju te značajno nižim troškovima održavanja. Usporedba LED i „klasične“ rasvjete u tunelu prikazana je na slici 47.



Slika 47. Usporedba LED i „klasične“ rasvjete u tunelu, izvor [40]



## 6. ZAKLJUČAK

Sigurnost u cestovnom prometu prepoznata je na globalnoj razini kao jedan od najaktualnijih problema današnjice. Cestovni tuneli, kao najizazovniji dio sigurnosnog čimbenika „cesta“, zauzimaju poseban status, od zakonske regulative vezane za cestovnu infrastrukturu, projektiranja, izgradnje pa do upravljanja. Iako broj prometnih nesreća u tunelima ne odstupa od ostatka infrastrukture (podaci za Republiku Hrvatsku [Huka] ), slične prometne nesreće u tunelu mogu imati značajno teže posljedice nego ako se dogode na otvorenom dijelu ceste. Ovo se posebice odnosi na one prometne nesreće koje rezultiraju požarom, rasipanjem opasnih tvari, a uvažavajući tunel kao zatvoreni prostor gdje dim može biti koban, a koji na otvorenim dionicama cesta nema značajan utjecaj na sigurnost sudionika u prometu. Također, specifičnost tunela je i ta što je rasvjeta tunela važnija u periodima jakog vanjskog osvjetljenja (dan), kada je rasvjeta na otvorenim dionicama cesta u potpunosti nepotrebna. U pravilu, tuneli vrlo rijetko imaju zaustavnu prometnu traku (otvorene dionice autocesta imaju zaustavnu prometnu traku cijelom dužinom) pa je i svaki kvar vozila u tunelu problematičan i zahtjeva zatvaranje prometne trake za promet.

Nastavno na gore navedeno, tunelski sustavi su znatno kompleksniji od onih na otvorenim dionicama cesta. Dok se na otvorenim dionicama cesta uglavnom koriste pasivni sustavi (poglavlje 3) te elementi prometno informacijskog sustava i video sustava, sustavi kao što su vatrodojava, kontrola rasvjete i ventilacija koriste se isključivo kod upravljanja sigurnošću prometa u tunelima. Obzirom da je većina tunela duljine iznad 500 metara u Republici Hrvatskoj na mreži autocesta, a koje su izgrađene unatrag desetak godina, stanje sustava za upravljanje prometom u tunelima je na zadovoljavajućoj razini i u skladu sa zahtjevima Direktive 2004/54 EZ te hrvatskim zakonskim normama vezanim za tunele, a što je dokazano i neovisnim testiranjima u okviru testiranja EuroTAP-a (eng. European Tunnel Assessment Programme), gdje je tunel Brinje 2007. proglašen najsigurnijim tunelom u Europi 2007. godine.

Međutim, evidentno je i kako postoji prostor za optimizaciju sustava za upravljanje prometom u tunelima, a prvenstveno uvažujući činjenicu rapidnog razvoja tehnologije pojedinih sustava koji se koriste u tunelima. Rasvjeta tunela s postojećim rasvjetnim tijelima generira značajne troškove električne energije koji se mogu smanjiti ugradnjom LED rasvjetnih tijela, točkaste detektore vatrodojave potrebno je zamijeniti linijskim, kamere video detekcije novijih generacija imaju kvalitetniju sliku i brže prepoznaju incidentne situacije, a

pojedine sustave je potrebno optimizirati, obzirom da prosječan vozač zasigurno ima limitiranu mogućnost percepcije količine određenih informacija.

Pojedini sustavi koji se koriste u svijetu kod nas još uvijek nisu implementirani ili su implementirani samo na pojedinim tunelima. Radi se o sustavu za detekciju temperature pneumatika i motora te detekciju vozila za prijevoz opasnih tvari. Obzirom da je brzina najčešći uzročnik prometnih nesreća, ni tuneli nisu izuzetak te je neophodno uvesti sustav automatskog nadzora brzine u tunelima i to ovisnog o promjenjivoj prometnoj signalizaciji, a kako bi se omogućilo kvalitetno upravljanje brzinom prometnog toka.

## LITERATURA

1. Nacionalni program sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske 2011. – 2020. godine, NN 59/11, Zagreb 2011.
2. Zakon o cestama (NN broj 84/11, 18/13, 22/13, 54/13, 148/13 i 92/14)
3. [http://www.mppi.hr/UserDocsImages/TEM%20Z%20CESTE%20DIONICE%20150914%2021-10\\_14.pdf](http://www.mppi.hr/UserDocsImages/TEM%20Z%20CESTE%20DIONICE%20150914%2021-10_14.pdf)
4. Zakon o sigurnosti prometa na cestama (NN 67/08, 48/10, 74/11, 80/13, 158/13, 92/14)
5. Pravilnik o minimalnim sigurnosnim zahtjevima za tunele (NN 96/13)
6. Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama (NN 105/04)
7. Opći tehnički uvjeti (knjiga VI) Hrvatskih cesta
8. Direktiva 2004/54/EZ o najnižim sigurnosnim zahtjevima za tunele u transeuropskoj cestovnoj mreži
9. <http://www.piarc.org/en/knowledge-base/road-tunnels/>
10. <http://www.landroverclub.net/Club/HTML/MontBlanc.htm>
11. [https://hr.wikipedia.org/wiki/Dodatak:Tuneli\\_u\\_Hrvatskoj](https://hr.wikipedia.org/wiki/Dodatak:Tuneli_u_Hrvatskoj)
12. <http://www.signalinea.hr/horizontalna-signalizacija.html>
13. Interna dokumentacija tvrtke Autocesta Rijeka – Zagreb d.d.
14. <http://www.prometna-signalizacija.com/oprema-ceste/tunelska-rasvjeta/>
15. <http://www.vps-prometna-signalizacija.hr/znak/6/431/k-prometna-oprema/smjerkazne-oznake-markeri-za-razdvajanje-smjerova-vonje>
16. <http://www.lipapromet.hr/Usluge/ProjektiranjeSvjetlotehnike/Profesionalnarasvjeta/tabid/70/itemid/342/amid/567/rasvjeta-tunela.aspx>
17. Lai, W. et al; Light intensity distribution optimization for tunnel lamps in different zones of a long tunnel, Optics express, rujana 2014.
18. <http://www.progradnja.hr/kategorije/tuneli/item/546-rasvjeta-u-tunelima>
19. Vrkljan, D., Vjetrenje tunela, RGN-fakultet, Zagreb, 2001.
20. <https://www.systemair.com/Deutschland/Solutions/Tunnel-and-Metro/Road-Tunnel/>
21. Mustapić, I., Projektiranje prometne infrastrukture, Dani prometnica, Zagreb, veljača 2001.
22. <http://www.prometna-signalizacija.com/informacijsko-komunikacijski-sustavi-u-prometu/sustavi-vatrodojave-u-cestovnim-tunelima/>
23. [https://en.wikipedia.org/wiki/Mont\\_Blanc\\_Tunnel#The\\_1999\\_fire](https://en.wikipedia.org/wiki/Mont_Blanc_Tunnel#The_1999_fire)
24. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/388904.stm>

25. <http://bstelecom.ba/sistem-upravljanja-prometom/vatrodojava.php>
26. <http://www.teb-ing.hr/radiokomunikacijski-sustavi/>
27. Tomašević, G., Modernizacija tunela Učka, časopis Građevinar, 2009.
28. <http://www.teb-ing.hr/telekomunikacijski-sustavi/>
29. <http://www.bina-istra.com/Default.aspx?sid=1801>
30. <http://www.flir.co.uk/traffic/display/?id=67446>
31. <http://www.firevu.com/tunnels/>
32. <http://www.tdcsystems.co.uk/solutions/traffic-counters-classifiers>
33. <https://www.swarco.com/sts-en/News-Events/News/Current-News/Traffic-Control-System-Gotthard-Tunnel-put-in-operation>
34. [http://www.zg-projekt.hr/wp-content/uploads/2015/08/08\\_ALGORITMI\\_SCENARIJI.pdf](http://www.zg-projekt.hr/wp-content/uploads/2015/08/08_ALGORITMI_SCENARIJI.pdf)
35. [http://hac.hr/UserDocsImages/Tunel\\_BRINJE.pdf](http://hac.hr/UserDocsImages/Tunel_BRINJE.pdf)
36. MUP, Statistički pregled temeljnih sigurnosnih pokazatelja i rezultata rada u 2014. godini.
37. Newman, P., Kenworthy, J., Robinson, L, Winning Back the Cities, Pluto Press, 1992.
38. <http://www.tunnel-online.info/>
39. <http://www.traffic-design.si/home/video-detection-and-surveillance-system-in-tunnel-markovec-slovenia>
40. <http://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-11/issue-2/features/ssl-outdoor-ssl/leds-chart-a-new-path-for-tunnel-lighting-magazine.html>

## POPIS TABLICA, SLIKA, GRAFIKONA, SHEMA

### POPIS TABLICA:

Tablica 1. Prometne nesreće u tunelima.....	7
Tablica 2. Prikaz tunela na autocestama duljine preko 500 m.....	9
Tablica 3. Prikaz odnosa razine osvjetljenosti u ovisnosti o ograničenju brzine u tunelu.....	20
Tablica 4: Prikaz podjele pogrešaka vozača kao okolnosti koja je prethodila prometnim nesrećama za 2013. i 2014. godinu.....	48

### POPIS SLIKA:

Slika 48. Pregledna karta TEM cestovne mreže Republike Hrvatske.....	4
Slika 2. Posljedice požara u tunelu Mont-Blanc.....	8
Slika 3. Obilježavanje ulaza u tunel.....	10
Slika 4. Evakuacijska crta u tunelu.....	11
Slika 5. Razdjelna (središnja) crta s „vibro-efektom“.....	11
Slike 6. i 7. Prometni znak „ugibaldište za zaustavljanje vozila u nuždi“ (C72/C73).....	13
Slike 8. i 9. Prometni znakovi „telefon za hitne slučajeve“ (C38) i „Vatrogasni aparat“ (C58).....	13
Slika 10. Prometni znak „izlaz u slučaju opasnosti“ (C124).....	13
Slika 11. Prometni znak „izlaz u slučaju opasnosti“ (C125).....	14
Slika 12. Prometni znak „cestovna građevina“ (C76).....	15
Slika 13. Prometni znak „radiopostaja“ (C64).....	16
Slika 14. Smjerokazne oznake (markeri – K02) u tunelu.....	17
Slika 15. Reflektirajuće oznake (K03).....	18
Slika 16. Ploče za označavanje zavoja na cesti (K12,K13 i K14).....	18
Slika 17. Smjerokazne oznake (markeri) za razdvajanje smjerova vožnje (K37).....	18
Slika 18. Pet zona tunelske rasvjete.....	21
Slika 19. Ventilatori.....	24
Slika 20. Uzdužna ventilacija.....	25
Slika 21. Normalni poprečni presjeci tunelskih cijevi ovisno o tipu ventilacije.....	26
Slika 22. Polupoprečna ventilacija.....	26

Slika 23. Poprečna ventilacija.....	27
Slika 24. Posljedice požara u tunelu Mont Blanc (1999.).....	28
Slika 25. Elementi sustava vatrodjave.....	29
Slika 26. Shema sustava radiodifuzije u tunelu.....	30
Slika 27. Obavijest o radijskim frekvencijama u tunelu Učka.....	31
Slika 28. SOS telefon u tunelu.....	32
Slika 29. Monitori video sustava u COKP-i Delnice na autocesti A6, Autocesta Rijeka – Zagreb d.d.....	34
Slika 30. Monitori i upravljački modul video sustava tunela Učka.....	34
Slika 31. Video detekcija rasutog tereta i pješaka.....	35
Slika 32. Video detekcija dima (podjela vidnog polja po zonama).....	36
Slika 33. Brojači prometa.....	38
Slika 34. Prikaz opreme i sustava – horizontalna i vertikalna podjela.....	39
Slika 35. Bazni (početni) algoritam rada CPS-a.....	39
Slika 36. Kontinuirani promjenjivi prometni znakovi (prizmatični).....	40
Slika 37. Svjetlosni promjenjivi znakovi (SPZ).....	41
Slika 38. Oprema za zatvaranje tunela.....	42
Slika 39. Prometna svjetla.....	42
Slika 40. Zatvaranje tunela aktivacijom tunelske opreme.....	43
Slika 41. COKP tunela Gotthard (Austrija).....	44
Slika 42. Algoritam rada aktiviran alarmom na kameri.....	45
Slika 43. Prometni znakovi, oprema i signalizacija ispred tunela Tuhobić, autocesta A6.....	47
Slika 44. Svjetlosna promjenjiva signalizacija u tunelu Brinje, autocesta A1.....	47
Slika 45. Detekcija temperature pneumatika i motora ispred tunela.....	50
Slika 46. Detekcija ADR oznake.....	51
Slika 47. Usporedba LED i „klasične“ rasvjete u tunelu.....	51