

# Sigurnosni čimbenici odvijanja prometa u srednje dugim i dugim tunelima na autocesti A1

---

Šupljika, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:133482>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-27**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Luka Šupljika**

**SIGURNOSNI ČIMBENICI ODVIJANJA PROMETA U  
SREDNJE DUGIM I DUGIM TUNELIMA NA AUTOCESTI A1**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2015**



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Luka Šupljika**

**SIGURNOSNI ČIMBENICI ODVIJANJA PROMETA U  
SREDNJE DUGIM I DUGIM TUNELIMA NA AUTOCESTI A1**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2015**

# ZAVRŠNI ZADATAK br. 1982

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**ZAVRŠNI RAD**

**SIGURNOSNI ČIMBENICI ODVIJANJA PROMETA U  
SREDNJE DUGIM I DUGIM TUNELIMA NA AUTOCESTI A1**

**SAFETY FACTORS OF TRAFFIC FLOW IN MEDIUM  
LENGTH AND LONG TUNNELS ON A1 MOTORWAY**

**Mentor: izv. prof. dr. sc. Dubravka Hozjan**

**Student: Luka Šupljika, 0135216100**

**Zagreb, rujan 2015.**

## **SAŽETAK:**

U ovom radu je dan osvrt na sigurnosne čimbenike odvijanja prometa u srednje dugim i dugim tunelima na autocesti A1. Kroz poglavlja su analizirani čimbenici koji omogućuju sigurno odvijanje prometa, kao što su tehničke karakteristike samih tunela, sigurnosna i protupožarna oprema, rasvjeta, ventilacija i dr. Analiziran je utjecaj samih vozača na sigurnost odvijanja prometa u tunelima, te je dan pregled zakonskih i drugih obveza koje vrijede za vožnju u tunelu. Istaknut je i europski program EuroTAP, te njegova važnost i uloga u povećanju sigurnosti u tunelima, kao i ostvareni rezultati srednje dugih i dugih tunela na trasi.

## **KLJUČNE RIJEČI:**

sigurnosni čimbenici, tunel, autocesta A1, sigurnost u tunelu, EuroTAP

## **SUMMARY:**

This paper is about safety factors of traffic flow in medium length and long tunnels on A1 Motorway. The factors that enable safe traffic flow, such as technical characteristics of tunnels, safety and firefighting equipment, lighting, ventilation, etc. have been analyzed through chapters. The driver effect on traffic flow safety has been analyzed and legal and other obligations valid for driving in tunnels presented. There is also a chapter about EuroTAP programme and its importance for improving safety in tunnels, as well as the results realized for medium length and long tunnels on the route.

## **KEY WORDS:**

safety factors, tunnel, A1 motorway, tunnel safety, EuroTAP

## Sadržaj:

1. UVOD.....	1
2. ČIMBENICI SIGURNOSTI PROMETA U TUNELIMA .....	2
2.1. Sustav ventilacije u tunelima .....	2
2.1.1. Vrste ventilacijskih sustava .....	3
2.1.2. Razlike u upravljanu ventilacijskim sustavom.....	8
2.2. Rasvjeta tunela.....	9
2.3. Prometna oprema tunela .....	12
2.4. Centri za održavanje i kontrolu prometa .....	18
3. REGULATIVA SIGURNOSTI PROMETA U SREDNJE DUGIM I DUGIM TUNELIMA .....	21
3.1. Održavanje tunela .....	21
3.2. Prijevoz opasnih tvari kroz tunele.....	23
3.3. Standardni operativni postupci u slučaju nesreće u tunelu.....	25
3.4. Europski program procjene sigurnosti prometa u tunelima.....	29
4. ZNAČAJKE SREDNJE DUGIH I DUGIH TUNELA NA AUTOCESTI A1 .....	32
5. PROBLEMATIKA ODVIJANJA PROMETA I OCJENA STANJA SIGURNOSTI TUNELA .....	37
5.1. Problematika odvijanja prometa kroz tunel.....	37
5.2. Ocjena stanja sigurnosti tunela.....	39
6. ZAKLJUČAK .....	42
Literatura .....	43
Slike.....	44
Tablice .....	45



# 1. UVOD

Kako u današnje doba sve više raste briga i svijest o raznim aspektima sigurnosti u svim područjima ljudske djelatnosti, tako je tim trendom u velikoj mjeri obuhvaćena i sigurnost prometa u tunelima.

Tunel kao građevina koja se cijelom svojom dužinom nalazi ispod površine terena osigurava prostor za različite namjene (npr. odvijanje prometa motornim vozilima) te je kao takav danas postao nezamjenjivi element prometne infrastrukture. Iz razloga široke i česte primjene tunela kao idealnog prometnog rješenja u smislu skraćivanja putovanja i povoljnijeg vođenja trasa cesta, velika je pažnja posvećena sigurnosti u tunelima kako u izgradnji tako i u kasnijoj eksploataciji.

Završni rad naslova „Sigurnosni čimbenici odvijanja prometa u srednje dugim i dugim tunelima na autocesti A1“ podijeljen je u šest cjelina:

- Uvod
- Čimbenici sigurnosti prometa u tunelima
- Regulatorna sigurnosti prometa u srednje dugim i dugim tunelima
- Značajke srednje dugih i dugih tunela na autocesti A1
- Problematika odvijanja prometa i ocjena stanja sigurnosti tunela
- Zaključna razmatranja

U poglavlju „Čimbenici sigurnosti prometa u tunelima“ dan je osvrt na sustave koji omogućuju sigurno odvijanje prometa prije samoga tunela i kroz tunel, kao što su ventilacija, tunnelska rasvjeta, prometna oprema i dr.

Poglavljem „Regulatorna sigurnosti prometa u srednje dugim i dugim tunelima“ obrađena je važeća regulatorna, te pravila vezana uz sigurnost prometa, što je posebno značajno u incidentnim situacijama kada je ugrožena sigurnost prometa i ljudski životi.

U četvrtom poglavlju „Značajke srednje dugih i dugih tunela na autocesti A1“ obrađene su tehničke značajke i specifičnosti pojedinih tunela koji se nalaze na trasi autoceste A1.

U petom poglavlju „Problematika odvijanja prometa i ocjena stanja sigurnosti tunela“ prikazani su problemi koji ugrožavaju sigurno i neometano prometovanje tunelom te je poseban naglasak stavljen na sigurnosno stanje srednje dugih i dugih tunela na autocesti A1 i povećanje sigurnosti kroz godine.

## 2. ČIMBENICI SIGURNOSTI PROMETA U TUNELIMA

Kako je sigurna upotreba tunela nužan preduvjet za učinkovito odvijanje prometa, to podrazumijeva zadovoljavajuću opremljenost, što je posebno bitno kod dugačkih tunela. Čimbenici koji omogućuju sigurno odvijanje prometa su kontrola kvalitete zraka u tunelu, protupožarna zaštita putnika i samog objekta, rasvjeta tunela, prometna oprema tunela te brojni drugi sustavi kao npr. električna i hidrantska mreža, sustavi video nadzora, razglasa, radio veza, vatrodjave, SOS pozivni sustav itd. Od svih nabrojanih sustava opreme možda najznačajniju ulogu ima sustav ventilacije kojim se održava kvaliteta zraka u tunelu u pogledu štetnih plinova ali i vidljivosti, a ventilacijski sustav posebno je značajan prilikom požara kada odvodi toplinu i dim.

### 2.1. Sustav ventilacije u tunelima

Ventilacija je jedan od najvažnijih čimbenika koji utječe na sigurnost prometa u tunelima. Njezin pravilan rad od neprocjenjive je važnosti u pogledu sigurnog odvijanja prometa u tunelima.

Prilikom konstrukcije i projektiranja dugačkih cestovnih tunela javljaju se, uz ostale, neki ograničavajući čimbenici:

- održavanje mikroklimе unutar tunela u okviru propisanih parametara, posebice u pogledu koncentracije štetnih plinova i ostalih nezdravih produkata rada benzinskih i dizelskih motora koji utječu na zdravlje korisnika tunela, te sigurnost odvijanja prometa zbog smanjenja vidljivosti,
- osiguravanje propisane razine protupožarne zaštite putnika i samog objekta pri čemu ventilacijski sustav ima nezamjenjivu ulogu prilikom odvođenja generirane topline tijekom požara i kontrole dima te razrjeđivanja eksplozivnih produkata gorenja.

Iz prethodno iznesenih čimbenika proizlazi da je izbor ventilacije tunela vrlo važan i zbog toga pri njegovu odabiru treba voditi računa o mnogim utjecajnim faktorima kao što su: tip prometnog tunela, njegove geometrijske karakteristike, meteorološka karta, vrsta i intenzitet prometa, financijski resursi te ostali značajni faktori. Problemi kod izbora ventilacijskog sustava mogu ići do te mjere da utječu i na izbor trase kojom će tunel prolaziti te na veličinu poprečnog presjeka tunelske cijevi.

### 2.1.1. Vrste ventilacijskih sustava

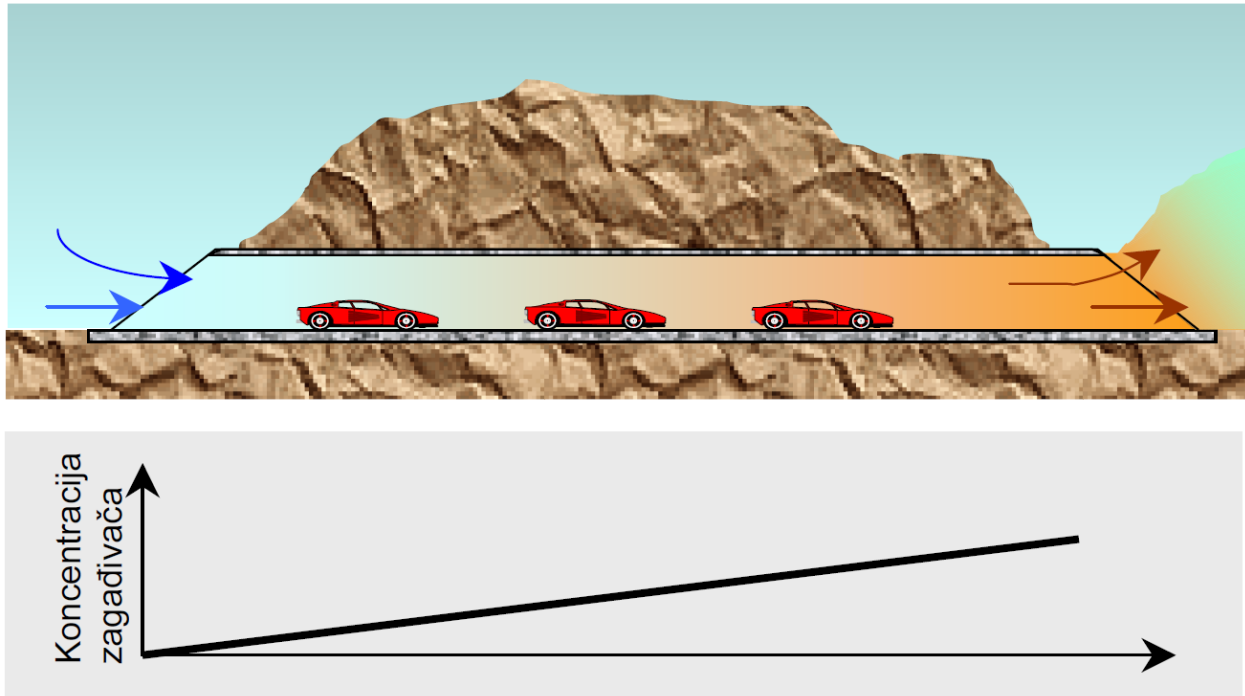
Uslijed različitih zahtjeva te tehničkih i konstrukcijskih izvedbi tunela mogu se pojaviti sljedeći sustavi ventilacije:

- prirodna ventilacija i
- umjetna ventilacija koja se dijeli na:
  - uzdužnu ventilaciju,
  - poprečnu ventilaciju i
  - polupoprečnu ventilaciju

Također u praksi je moguća i kombinacija navedenih sustava ventilacije, ovisno o zahtjevima i uvjetima primjene.

#### ● Prirodna ventilacija

Prirodna ventilacija je svakako ekonomski gledajući najpovoljniji sustav čiji je utjecaj prisutan u svim vrstama tunela htjeli mi to ili ne. Pod prirodnom ventilacijom se podrazumijeva nekontrolirano strujanje zraka u tunelskoj cijevi uslijed utjecaja meteoroloških uvjeta i prometa (slika 1.). Najznačajniji meteorološki učinci su: razlika tlakova na ulazu u izlazu tunela, portalima, učinak dimnjaka te djelovanje vjetra. Uz to na provjetravanje tunela mogu utjecati i nadmorska visina, konfiguracija terena te djelovanje vozila stvarajući tzv. „učinak klipa“ (piston effect). Ta djelovanja mogu biti dovoljna da razrijede zagađenje u tunelu posebice kod jednosmjernog prometa. No prirodna ventilacija je nesigurna i stoga ne može osigurati zaštitu u slučaju požara u tunelu pa se iz tog razloga ne preporučuje za tunele duže od 800 m. Razlog tome je što se kod dugačkih tunela tu veliku i nečistu masu zraka teško može pokrenuti prirodnim putem (djelovanjem meteoroloških uvjeta i prometom), pogotovo ako se radi o dvosmjernom prometu. Osim toga i meteorološki učinci su promjenjivi i ne mogu se uzeti kao pouzdani izvor provjetravanja tunela. Stoga je prirodnu ventilaciju najbolje koristiti u kraćim tunelima gdje se pod utjecajem meteoroloških uvjeta i prometa stvara učinak klipa, odnosno strujanje zraka u smjeru dominantnog smjera prometovanja koje može zadovoljiti postavljene kriterije kvalitete zraka i vidljivosti u tunelu.



**Slika 1.** Princip prirodne ventilacije tunela, Izvor: [1.]

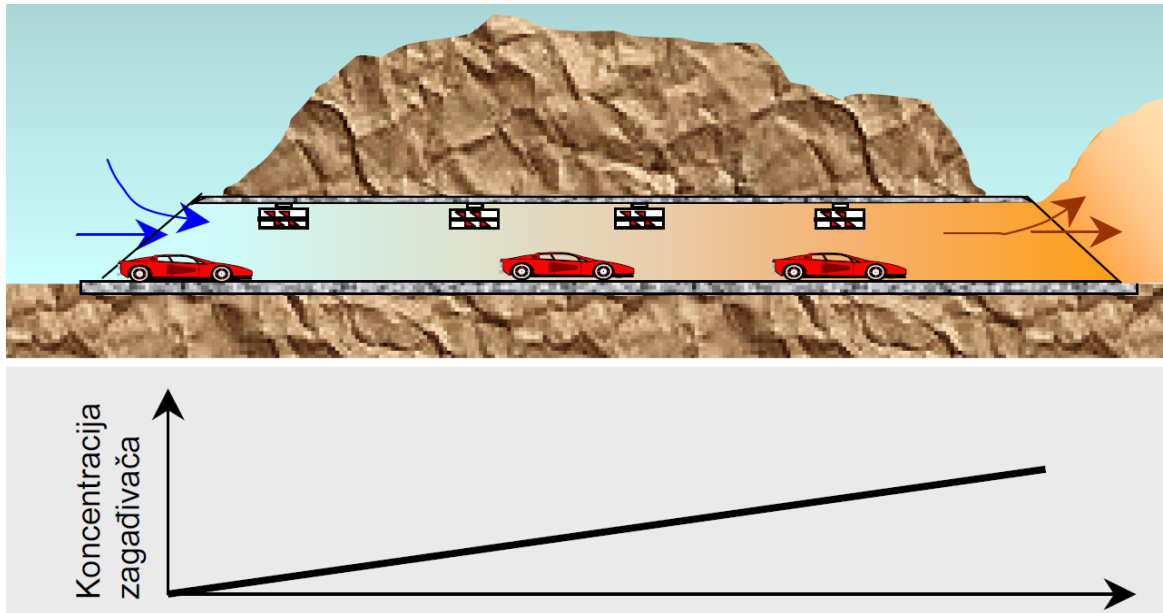
### • Umjetna ventilacija

Umjetna ventilacija odnosno mehanička ventilacija rješenje je koje se primjenjuje kod dugačkih tunela s različitim nagibima trase, velikom gustoćom prometa i općenito u svim onim slučajevima gdje prirodni način provjetravanja tunela ne daje zadovoljavajuće rezultate. Karakteristika umjetne ventilacije je da se mehaničkim putem pomoću ventilatora ubacuju odgovarajuće količine svježeg zraka u tunelsku cijev.

**Uzdužna ventilacija** jedna je od vrsti mehaničkog načina provjetravanja. To je takav način provjetravanja gdje se zrak pomoću ventilatora usisava odnosno isisava na ograničenom broju mjesta i na taj način nastaje uzdužni protok zraka kroz tunel. Ventilatori se obično nalaze u grupama od dva ili tri, obješeni o svod tunelske cijevi iznad prometnog prostora i raspoređeni su na međusobnoj udaljenosti od oko 100 – 200 metara. Pod djelovanjem ventilatora dolazi do linearnog porasta koncentracije zagađenja u smjeru strujanja zraka (slika 2.)

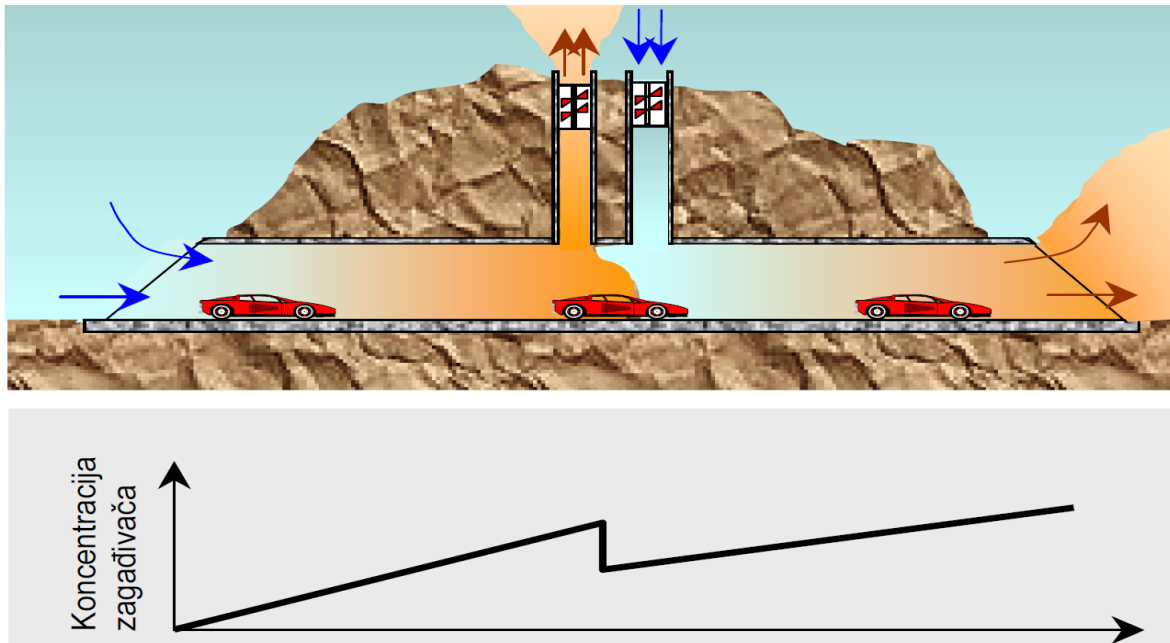
U tunelima s uzdužnom ventilacijom zbog velike porivne snage ventilatora i strujanja zraka kojeg oni uzrokuju zanemariv je utjecaj meteoroloških prilika koje vladaju na portalima tunela, ali zato veliki utjecaj ima promet u tunelu. Ako se radi o jednosmjernom prometu, koji se poklapa sa smjerom strujanja zraka, tada vozila

stvarajući učinak klipa dodatno pospješuju strujanje zraka i čine ovaj tip iznimno učinkovitim. Iako postoji i kontraproduktivni učinak prometa gdje dolazi do poremećaja u strujanju zraka uslijed turbulencija i naglih promjena dinamičkog tlaka uzrokovanih gibanjem vozila.



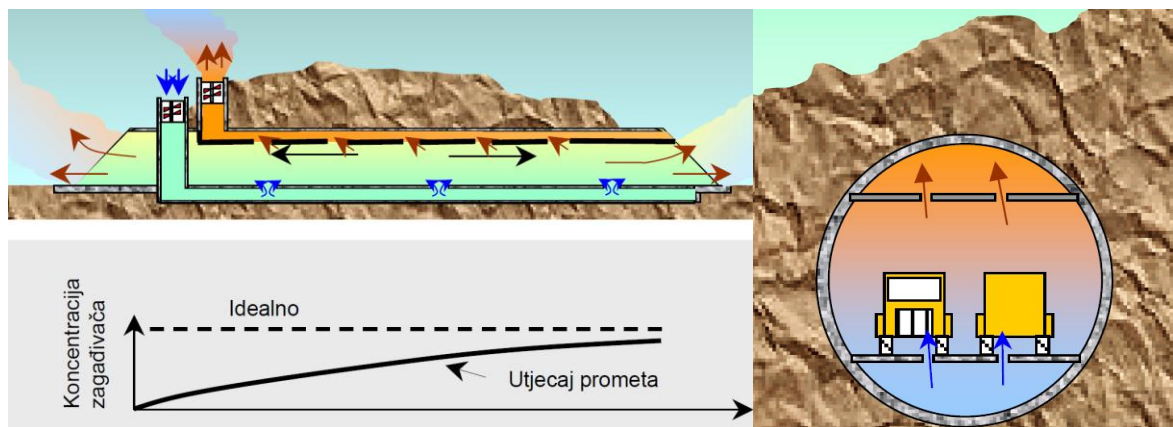
**Slika 2.** Uzdužni sustav provjetravanja tunela i koncentracija zagađenja, Izvor: [1.]

Kao mogućnost poboljšanja uzdužne ventilacije u pogledu protupožarne zaštite primjenjuje se serijska uzdužna ventilacija. Kod nje je tunel podijeljen na autonomne dionice koje se ostvaruju izvođenjem ventilacijskog okna ili više njih u stropu tunela te se time dobiva više zasebnih tunela u kojima je moguće propisano smanjenje zagađenja ostvariti bez prekoračenja dozvoljene brzine strujanja zraka u tunelu (slika 3.).



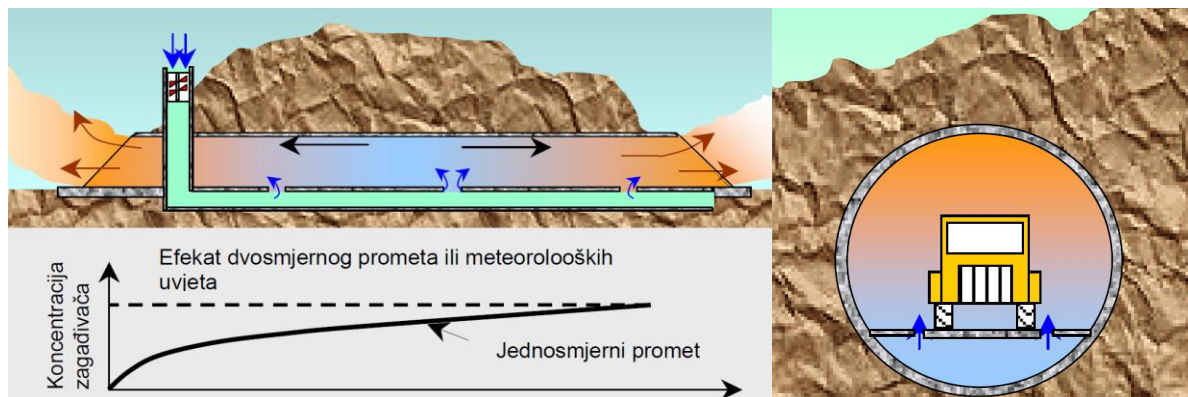
**Slika 3.** Uzdužni sustav provjetravanja sa ventilatorima u stropu tunela i koncentracija zagađenja, Izvor: [1.]

**Poprečna ventilacija** drugi je način umjetnog provjetravanja tunela. Karakteristika ovog tipa ventilacije je dobivanje svježeg zraka i uklanjanje zagađenog zraka kroz odvojene zračne kanale u spuštrenom stropu izvedenom duž cijelog tunela (slika 4.). Najčešće se dobivanje svježeg i odstranjivanje zagađenog zraka ostvaruje kroz koridore formirane u obliku pregrade u profilu tunelske cijevi. Zrak u tunel ulazi i izlazi putem regulacijskih stropnih rešetki, a smjer strujanja je poprečan u odnosu na smjer odvijanja prometa. Kod vrlo dugih tunela uobičajena je izvedba poprečne ventilacije s vertikalnim ventilacijskim oknom čime se tunel dijeli na više dionica. Karakteristika takvog načina ventilacije je jednolika raspodjela svježeg zraka, odnosno zagađenja uzduž tunela. U slučaju požara dim se odvodi kroz odvodni kanal, dok se u ventilacijsku dionicu tunela zahvaćenu požarom ne dovodi svježi zrak da bi se kontroliralo i spriječilo širenje vatre na susjedne ventilacijske dionice tunela. Ovakav način ventilacije najčešće je u upotrebi kod vrlo dugih tunela gdje ostale metode ne daju zadovoljavajuće rezultate. Nedostatak poprečne ventilacije su visoki investicijski troškovi te je zato rijetko u upotrebi.



**Slika 4.** Sustav poprečnog provjetravanja tunela/uzdužni i poprečni presjek tunela s koncentracijom zagađenja, Izvor: [1.]

**Polupoprečna ventilacija** treća je metoda umjetnog ventiliranja tunela (slika 5.). Kod ove metode svježi zrak se transportira kroz posebni prostor u spuštenom podu tunela i dalje se kroz ravnomjerno raspodijeljene otvore ili rešetke dovodi u prometni prostor tunela. Za razliku od poprečne ventilacije gdje postoji posebni kanal za odvođenje zagađenog zraka, ovdje je to uređeno na način da zagađeni zrak izlazi van kroz portale ili kroz središnje ventilacijsko okno pomoću velikih aksijalnih ventilatora smještenih na stropu tunnelske cijevi, kao kod uzdužne ventilacije.



**Slika 5.** Sustav polupoprečno provjetravanja tunela/uzdužni i poprečni presjek tunela s koncentracijom zagađenja, Izvor: [1.]

U slučaju požara dovodni kanal u spuštenom podu postaje odvodni kanal za odvod dima iz tunela, a stropni ventilatori prelaze u reverzibilni pogon i rade kao odsisni ventilatori sprječavajući širenje dima tunelom. Radi kontrole širenja vatre i dima tuneli se dijele u ventilacijske dionice izradom jednog ili više vertikalnih okana. Ovaj sustav je

zadovoljavajuće učinkovit u situacijama požara čemu pridonosi gustoća rešetki te raspoloživa površina odvodnog kanala koja je znatno veća od one u klasičnoj poprečnoj izvedbi. Početni troškovi ovakvog sustava s uzdužnom ventilacijom su veći, dok su troškovi elektromehaničke instalacije slični.

### **2.1.2. Razlike u upravljanu ventilacijskim sustavom**

Kako je ventilacijski sustav konstruiran sa zahtjevom besprekidnog rada čak i u slučaju ekstremnih radnih uvjeta temperature i naprezanja, to su velike razlike u njegovom radu prilikom takvih slučajeva u odnosu na standardne uvjete pri svakodnevnoj eksploataciji. Kod projektiranja ventilacijskih sustava moraju se uzeti u obzir tri cilja:

- razrjeđivanje zagađenja unutar tunela,
- zaštita okoliša na izlazu iz tunela i
- kontrola požara i dima

Troškovi korištenja ventilacije vrlo su veliki, stoga sustavom ventilacije treba upravljati ekonomično kad god je to moguće. To se pogotovo odnosi na normalan režim rada, ali da se prilikom toga nikada ne dovodi u pitanje sigurnost putnika.

Uobičajeno se sustavom ventilacije upravlja automatski, ali u svakom trenutku treba biti omogućen prijelaz na ručni režim rada. Da se osigura potrebna sigurnost svakodnevno se nadziru brojni podaci kao što su: koncentracija ugljičnog monoksida, vidljivost, smjer i brzina kretanja zraka u tunelu, podaci o prometu, stupanj zagađenosti zraka u tunelu, temperatura i tlak izvan tunela, potrošnja električne energije i dr. Svi ti podaci koriste se kao ulazne vrijednosti za algoritam automatskog upravljanja tunelom. Na automatskom sustavu je da praćenjem tih parametara procjenjuje sigurnost odvijanja prometa u tunelu, tako npr. postoji granična koncentracija CO-a koja ako se zadržava duže od 10 minuta rezultira zatvaranjem tunela za promet. Također osim koncentracije CO-a svoju graničnu vrijednost ima i uzdužna brzina strujanja zraka čija maksimalna vrijednost mora biti takva da ne smeta vozilima niti osoblju u tunelu, to je uobičajeno 8-10 m/s. Sve navedeno odnosi se na normalan režim rada kada većinu vremena automatizirani sustav upravlja parametrima i kontrolira atmosferu u tunelu. No u slučaju požara prelazi se u sasvim drugi način upravljanja tunelom – požarni režim rada.

U slučaju požara glavni zadatak ventilacije je osigurati siguran dolazak do skloništa ili izlaza iz tunela svim korisnicima održavajući evakuacijske putove ne zadimljene, te omogućavajući siguran rad protupožarnim jedinicama uz minimalizaciju štete. Iako su požari u tunelima izrazito rijetki, njihove posljedice mogu biti katastrofalne iz razloga



visokih temperatura koje se u tim situacijama razvijaju. Posljedica tih temperatura je narušavanje statike tunela, no kao izravna posljedica požara po čovjeka je puno opasniji dim koji gorenjem nastaje. Ponašanje dima u tunelu glavni je predmet proučavanja jer se jako razlikuje od ponašanja dima na otvorenom prostoru. Razlog drugačijem ponašanju dima su zidovi tunelske cijevi jer oni ograničavaju širenje dima, iz tog razloga potpuno i pravilno upravljanje sustavom ventilacije u tim je situacijama od izrazite važnosti u spašavanju života i imovine.

## 2.2. Rasvjeta tunela

Tunelska rasvjeta značajan je faktor sigurnog odvijanja prometa u tunelu, a posebno to do izražaja dolazi kod dugačkih tunela kao i u situacijama smanjenje vidljivosti kao što su požari. Pravilna ugradnja i korištenje tunelske rasvjete jedan su od važnijih čimbenika koji utječu na sigurnost odvijanja prometa u tunelu, zato se rasvijeti tunela i pridaje velika pažnja i značaj.

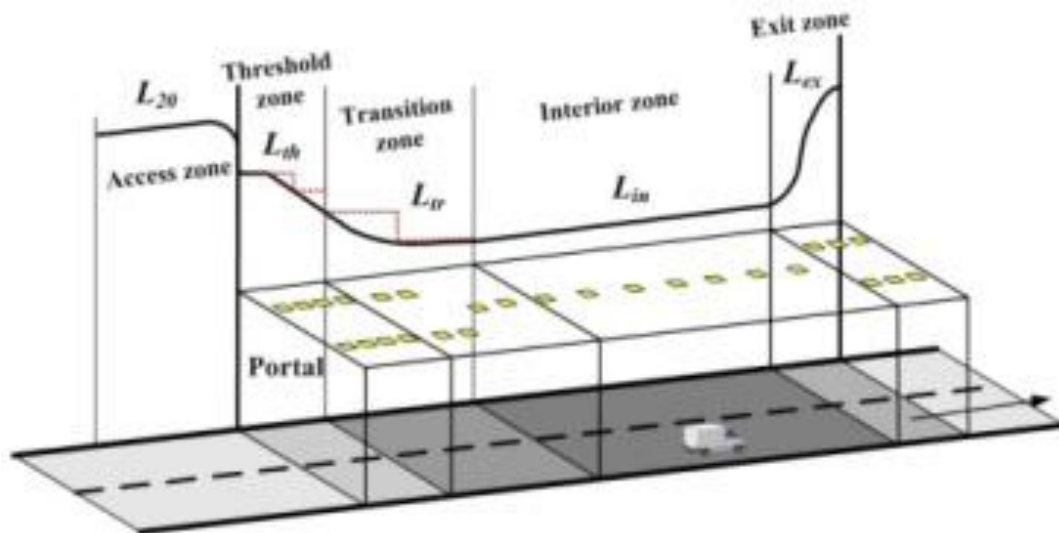
Potreba da su tuneli konstantno otvoreni za promet kao i drugačiji vremenski uvjeti unutar samih tunela, određuju veliku važnost ispravnog funkcioniranja rasvjete tunela. Iz toga proizlaze glavni ciljevi tunelske rasvjete:

- Primarni cilj - omogućiti siguran i pouzdan ulaz, prolazak i izlaz iz tunela
- Sekundarni cilj - 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. Ovi se zahtjevi najviše očituju tokom dana kada je kontrast jačine svjetlosti između unutrašnjosti tunela i vanjskog prostora velik kao i tokom noći gdje vrijedi inverzni režim u odnosu na režim za dnevnog svijetla.

Glavni kriterij tunelske rasvjete je da dobra tunelska rasvjeta podrazumijeva siguran i konfortan ulazak u tunel, vožnju kroz tunel i izlazak iz tunela. Iz tog razloga prilikom projektiranja i izvedbe tunelske rasvjete ustanovljavaju se tzv. zone tunelske rasvjete, koje se dijele na 5 ključnih zona rasvjete unutar tunela (slika 6.):

- Pristupna zona
- Ulazna zona
- Tranzicijska zona
- Unutarnja zona
- Izlazna zona



**Slika 6.** Prikaz zona tunelske rasvjete, Izvor: [2.]

- **Pristupna zona**

Pristupna zona (Access zone) 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 zamijetiti potencijalne prepreke, opasnosti te nastaviti vožnju ka tunelu bez reduciranja brzine kretanja. Vozačeva mogućnost prilagodbe unutar pristupne zone definira razinu tunelske rasvjete u nadolazećoj zoni rasvjete. Jedna od metoda za proračun vizualne prilagodbe je "L20 metoda". Ona uspoređuje prosječnu iluminaciju okoline, neba i prometnice u vizualnom konusu pod kutom od  $20^\circ$  koji je centriran na vizualnoj liniji vozača na samome početku pristupne zone. Vizualna prilagodba između visoke i niske iluminacije prilikom vožnje nije trenutačna pojava. Uzrok tomu su:

- **Prostorna prilagodba** - velika razlika iluminacije između unutarnjeg i vanjskog prostora tunela uvjetovat će vozačevu vidljivost u točki A (točki prilagodbe). Pojava "Crne točke" prouzročit će kod vozača osjećaj nelagode i nesigurnosti.

- **Vremenska prilagodba** - ljudskom je oku potrebno više vremena da se navikne prilikom promjene iz svjetlije u tamno nego li u obrnutom slučaju. Vrijeme potrebno da se sama prilagodba izvrši predstavlja kritični čimbenik.

- **Ulazna zona**

Ulazna zona (Threshold zone) može se usporediti sa zaustavnom udaljenošću. U prvom dijelu ove zone razina iluminacije mora ostati konstantna i povezana s vanjskom iluminacijom (L20). Pri završetku ulazne zone, razina potrebne iluminacije mora se u kratkom vremenskom periodu dovesti na vrijednost od 40% početne vrijednosti.

- **Tranzicijska zona**

Prostorom tranzicijske zone (Transition 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 stvarnom vremenu. Kraj tranzicijske zone označava da je dostignuta vrijednost iluminacije jednaka trostrukoj razini unutrašnjosti.

- **Unutarnja zona**

Unutarnja zona (Interior zone) je prostor između tranzicijske i izlazne zone, a ujedno je i najduža sekcija tunela. Potrebne razine iluminacije prema brzini motornih vozila i gustoći prometa navedene su u tablici 1.

**Tablica 1.** Potrebne razine iluminacije prema brzini motornih vozila i gustoći prometa, Izvor: [2.]

<b>GUSTOĆA PROMETA/BRZINA KRETANJA</b>	<b>RAZINA ILUMINACIJE</b>
Urbane zone, mali promet i mala brzina (<70 km/h)	1.5 – 3 cd/m <sup>2</sup>
Urbane zone, veliki promet i velika brzina (>70 km/h)	2 – 6 cd/m <sup>2</sup>
Autocesta	4 – 10 cd/m <sup>2</sup>
Urbana zona	4 – 10 cd/m <sup>2</sup>

- **Izlazna zona**

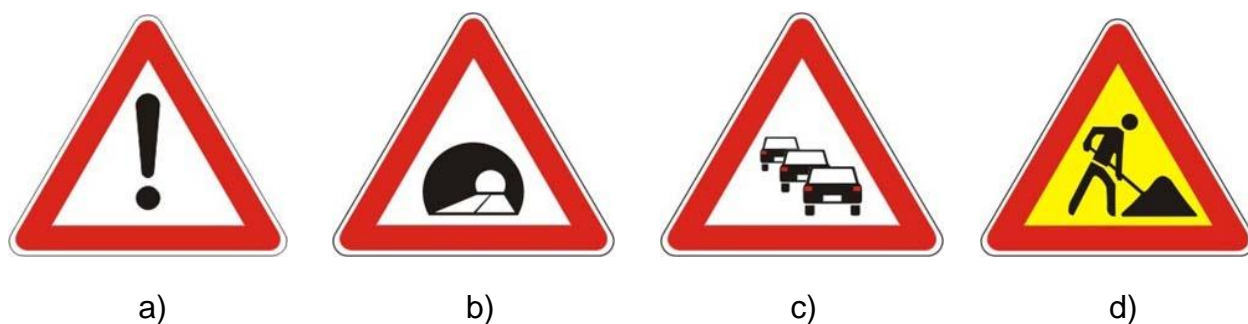
Izlazna zona (Exit zone) je dio tunela između unutarnje zone i završetka tunela (natkriveni dio). Tijekom dana u ovoj je zoni vidljivost vozača koji se približava izlasku iz tunela direktno povezana s razinom blještavila na izvan tunela. Ljudsko oko ima sposobnost gotovo trenutačne prilagodbe na prelasku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

### 2.3. Prometna oprema tunela

Prometnu opremu tunela čine: vertikalna i horizontalna signalizacija, promjenjiva prometna signalizacija, prometna svjetla, oprema za označavanje ruba kolnika te oprema za smirivanje prometa.

**Vertikalna signalizacija** se sastoji od prometnih znakova, a to mogu biti znakovi opasnosti, znakovi izričitih naredbi i znakovi obavijesti.

Znakovi opasnosti vozačima označuju blizinu dijela ceste ili mjesto na kojem sudionicima u prometu prijeti opasnost. Imaju oblik istostraničnog trokuta, a kada se postavljaju u tunelima i galerijama duljina stranice istostraničnog trokuta iznosi 60 cm. Osnovna boja tih znakova je bijela dok su rubovi trokuta crvene boje, osim znaka A25 (radovi na cesti), čija je osnovna boja žuta. Simboli na znakovima opasnosti su crne boje. Nekolicina znakova dana je kao primjer znakova opasnosti (slika 7.).

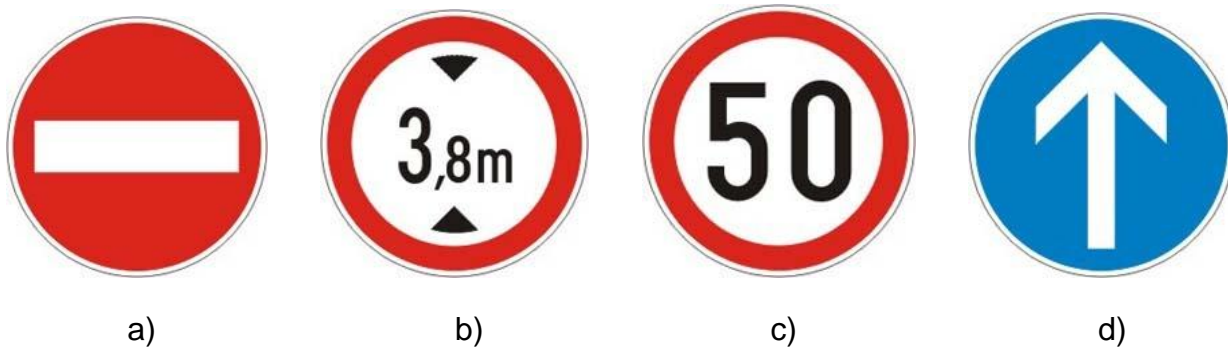


**Slika 7.** Neki od znakova opasnosti, Izvor: [3.]

a) Opasnost na cesti, b) Tunel, c) Kolona zaustavljenih vozila, d) Radovi na cesti

Znakovi izričitih naredbi stavljaju do znanja sudionicima u prometu da na cesti postoje zabrane, ograničenja i obveze. Imaju oblik kruga, osim znakova B01 (raskrižje s cestom

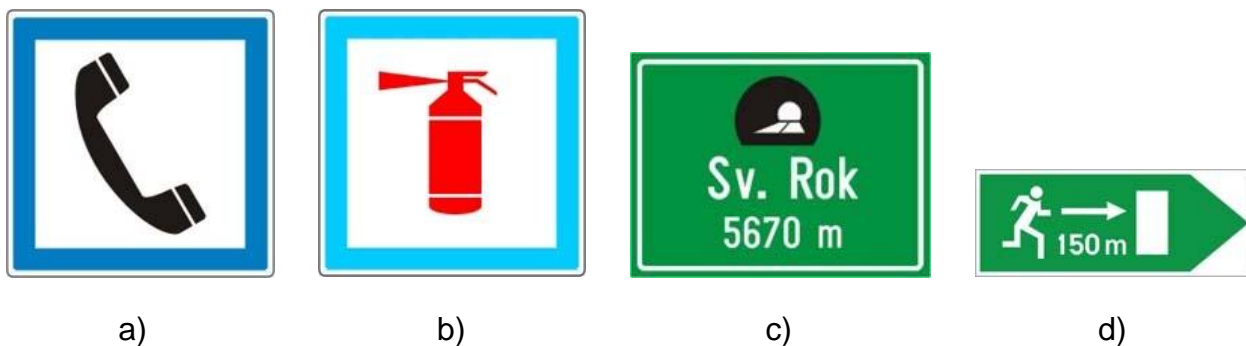
s prednošću prolaska) i B02 (obavezno zaustavljanje). Osnovna boja znakova zabrane i ograničenja je bijela, a osnovna boja znakova obveze je plava. Simboli na znakovima zabrane i ograničenja su crne boje, a na znakovima obveza bijele. Rub kruga te ravne i kose crte na znakovima izričitih naredbi na kojima postoje crvene su boje. Dimenzije stranica ili promjer kruga znaka u tunelu iznosi 60 cm. Nekolicina znakova dana je kao primjer znakova izričitih naredbi (slika 8.).



**Slika 8.** Neki od znakova izričitih naredbi, Izvor: [3.]

a) Zabranu prometa u jednom smjeru, b) Zabranu prometa za vozila čija ukupna visina premašuje određenu visinu, c) Ograničenje brzine, d) Obavezan smjer

Znakovi obavijesti sudionicima u prometu daju potrebne obavijesti o cesti kojom se kreću, nazivima mjesta kroz koja cesta prolazi i o udaljenostima od tih mjesta, prestanku važenja znakova izričitih naredbi te druge obavijesti koje im mogu koristiti. Imaju oblik kvadrata, pravokutnika ili kruga. Kada se postavljaju u tunelima i galerijama dimenzije promjera kruga znaka Ø60 cm, kvadrat 60 cm i pravokutnik dimenzija 60×90 cm. Nekolicina znakova dana je kao primjer znakova obavijesti (slika 9.).

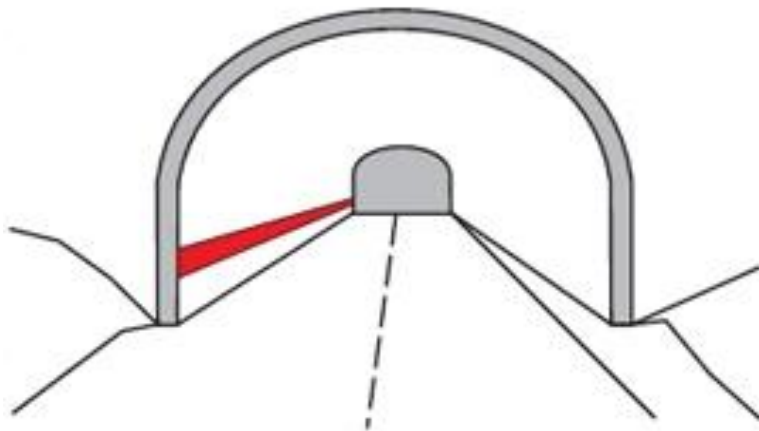


**Slika 9.** Neki od znakova obavijesti, Izvor: [3.]

a) Telefon, b) Vatrogasni aparat, c) Cestovna građevina, d) Smjer za sigurnosni izlaz

**Horizontalnu signalizaciju** u tunelima čine: razdjelne crte, rubne crte, evakuacijska crta te ostale oznake na kolniku kao što su npr. strelice koje označavaju smjer kretanja motornog vozila. Dvostruka puna razdjelna crta se upotrebljava u tunelima i prilazima tunelima gdje je strogo zabranjeno pretjecanje drugih motornih vozila. Također uz navedeno moguća je i upotreba katadioptera ugrađenih u središnju razdjelnu punu crtu kako bi se dodatno povećala sigurnost sudionika u prometu tunelom. U tunelima se upotrebljavaju pune rubne crte koje označavaju rub vozne površine kolnika.

Evakuacijska crta se nalazi na oblozi tunela i 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 čiji se donji rub nalazi na visini od 90 cm iznad nogostupa (slika 10.).

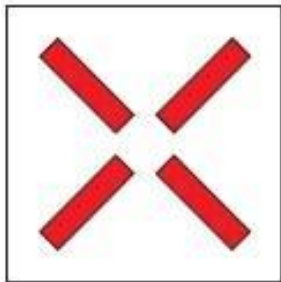


**Slika 10.** Evakuacijska crta na oblozi tunela, Izvor: [3.]

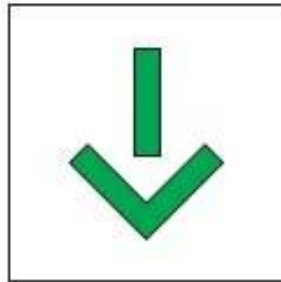
**Promjenjiva prometna signalizacija** je pogodna za upotrebu u tunelima ili neposredno ispred i iza njih zato što pruža mogućnost prikazivanja različitih aktualnih situacija. Najčešći prometni znakovi koji se upotrebljavaju kao tunelska izmjenjiva signalizacija su znakovi koji su direktno vezani uz:

- ograničenja brzine na određenom dijelu prije, poslije ili unutar tunela
- znakovi opasnosti, obavijesti izričitih naredbi vezani uz stvarne vremenske i prometne uvijete prije, poslije ili unutar tunela kao što su npr. kolona vozila, vozilo u kvaru, prometna nesreća, magla, vjetar, poledica, snijeg, itd.

Neki od najčešće korišteni promjenjivih svjetlosnih znakova prikazani su na slici 11.



a)



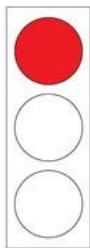
b)

**Slika 11.** Promjenjiva prometna signalizacija, Izvor: [3.]

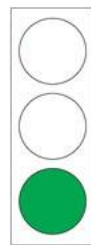
a) zabrana toka prometa uzduž prometnog traka iznad kojega se znak nalazi,

b) slobodan tok prometa uzduž prometnog traka iznad kojega se znak nalazi

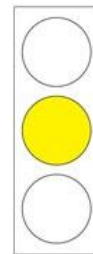
**Prometno svjetlo** je često u upotrebi kao oznaka slobodnog prolaza kada svijetli zeleno, odnosno kao zabrana ulaza i prometa tunelom kada je upaljeno crveno svjetlo. Također, česta je upotreba prometnog svjetla žute boje u stanju treptanja kao upozorenje sudionicima u prometu na moguće opasnosti u tunelu (slika 12.)



a)



b)



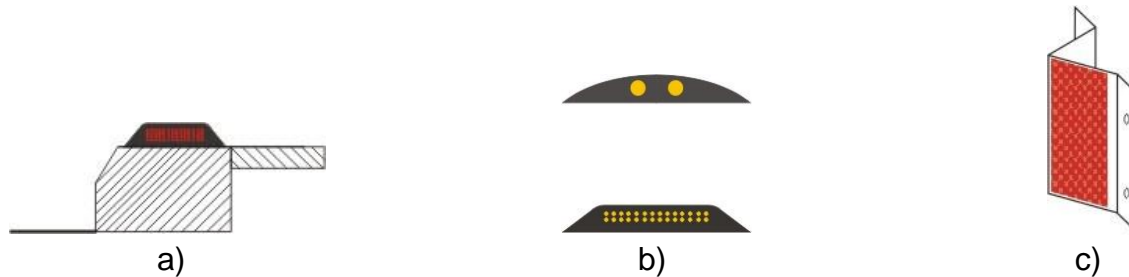
c)

**Slika 12.** Promjenjiva prometna signalizacija, Izvor: [3.]

a) zabranjen prolazak vozila, b) slobodan prolaz vozila, c) upozorenje sudionicima u prometu na moguće opasnosti

**Opremu za označavanje ruba kolnika** čine smjerokazne i reflektirajuće oznake. Smjerokazne oznake za tunele označavaju rub kolnika u tunelu i izvode se u tehnologiji svjetlećih dioda (LED dioda) i moraju imati stalan izvor napajanja. Smjerokazne oznake za tunele u smjeru vožnje su na desnoj strani i crvene su boje, a na lijevoj strani ceste su bijele boje (slika 2.13.a). Postavljaju se na razmaku od 25 m kod tunela u pravcu, odnosno na razmaku od 15 m u zavoju kao i na prvih 100 m tunela. Postoje i

smjerokazne oznake za razdvajanje prometa kada je tunel dvosmjernan, kada se postavljaju na središnju punu crtu na razmaku od 6 m (slika 13.b). Reflektirajuće oznake označavaju rub kolnika i postavljaju se na objekte na mjestima gdje nije moguće postaviti smjerokazne stupiće, a veličina, boja i oblik reflektirajućih oznaka ovise o mjestu postavljanja (slika 2.13.c).

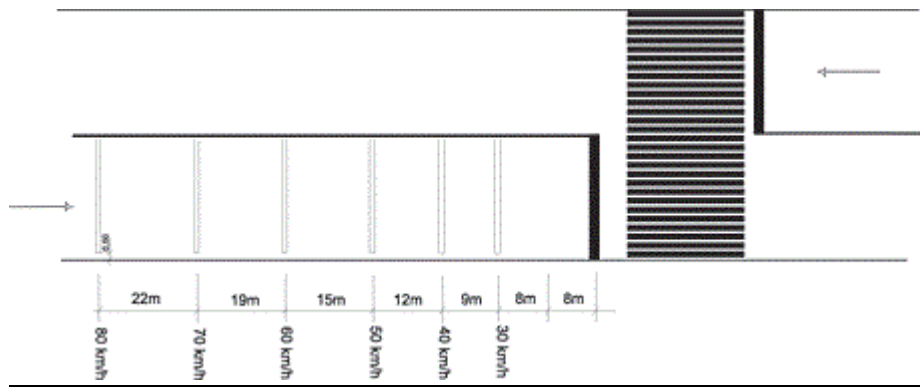


**Slika 13.** Promjenjiva prometna signalizacija, Izvor: [3.]

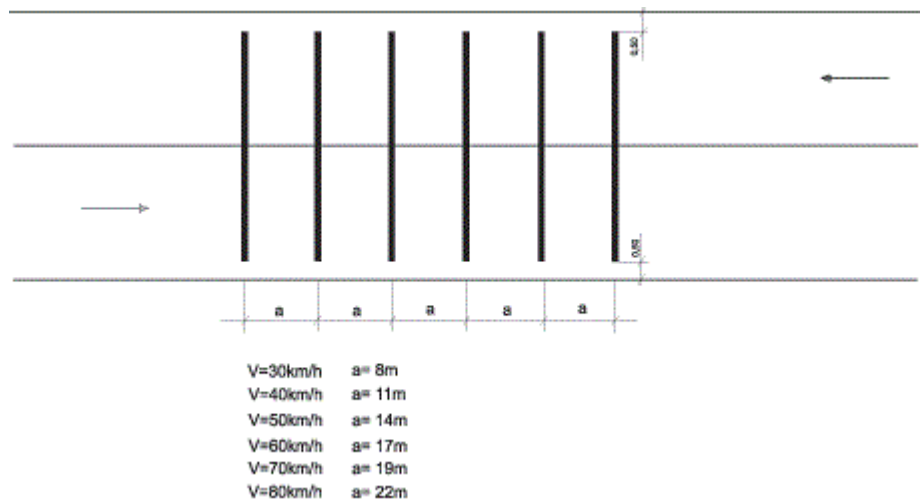
a) smjerokazna oznaka za tunele, b) smjerokazna oznaka za razdvajanje smjerova vožnje, c) reflektirajuća oznaka

**Opremu za smirivanje prometa** u tunelima čine tzv. zvučne odnosno vibracijske trake. Zvučne trake pri prijelazu vozila preko njih proizvode tihe vibracije i zvučne efekte te na taj način upozoravaju vozača da smanji brzinu ili pripazi na prelazak u suprotan trak. Izvode se hrapavljenjem površine kolnika određenim sredstvima, glodanjem ili nanošenjem eruptivne kamene granulacije veličine 8-12 mm. Zvučne trake se preko prometnog traka, širine od 15 do 40 cm i visine od 5 do 12 mm na međusobnom razmaku koji ovisi o početnoj i konačnoj brzini koju vozilo postiže prije opasnog dijela ceste (slika 14.). Vibracijske trake nešto su masivnije od zvučnih te prilikom prelaska vozila proizvode jače vibracije i zvučne efekte. Izvode se od kamene eruptivne granulacije preko cijele širine kolnika, širine od 20 do 40 cm i visine od 18 do 25 mm. Vibracijske trake se postavljaju na mjesta gdje se vozača želi upozoriti na vožnju prema propisanom ograničenju brzine na cesti (slika 15.).





**Slika 14.** Trake za zvučno upozoravanje vozača (zvučna traka), Izvor: [4.]



**Slika 15.** Vibracijska traka za usporenje prometa, Izvor: [4.]

## 2.4. Centri za održavanje i kontrolu prometa

U centrima za održavanje i kontrolu prometa (COKP) smještene su centrale svih sustava postavljenih u tunelima (slika 16.). Kako im i naziv sugerira, u tim se centrima pomoću dostupnih sustava kontroliraju i onemogućuju nepoželjni događaji koji mogu biti posljedica izravnog utjecaja prometa, vremenskih neprilika ili nekog drugog neplaniranog događaja. Tunnel kao prometni sustav iziskuje stalni nadzor, upravljanje i informiranje korisnika, kako bi se i u tim trenucima incidentnih situacija, vršnog opterećenja ili kod obavljanja radova na održavanju njime prometovalo sigurno. Radi toga se uz tunele gradi složena infrastruktura koja osim poboljšanja sigurnosti u tunelu ima za cilj pridonijeti smanjenju zagađenja okoliša, uštedi vremena i povećanju mobilnosti. Zbog svega navedenog za sigurno prometovanje te održavanje tunela potrebno je osigurati sljedeće :

- nadzor, upravljanje i osiguranje prometa u normalnim uvjetima te u slučaju kvara ili nužde,
- nadzor, upravljanje i reguliranje tehničkih pogonskih sustava u normalnim uvjetima te u slučaju kvara ili nužde,
- čišćenje pogonskih sustava i građevine,
- održavanje, servisiranje i obnavljanje tehničkih pogonskih sustava,
- organizacijski planovi za slučaj nužde (kvar na vozilu, nezgoda, požar).

Tehnička se oprema tunela mora automatski upravljati, regulirati i nadzirati. To uvjetuje sveobuhvatno zajedničko djelovanje svih sustava. Ono je zajamčeno centralnom tehnikom upravljanja.

U suvremenim tunelima se nalaze sljedeći nadzorno - upravljački sustavi:

- prometno – informacijski sustav,
- video nadzor i automatska video detekcija,
- sustav daljinskog upravljanja i nadzora,
- vatrodojava,
- SOS pozivni sustav,
- sustav razglasa,
- sustav radio veza.



**Slika 16.** Prikaz centra za održavanje i kontrolu prometa, Izvor: [2.]

**Prometno – informacijski centar** obavlja nadzor i upravljanje promjenjivom prometnom signalizacijom, brojanje prometa, prihvata i pohranjivanje svih podataka dobivenih iz prometnog sustava te prosljeđivanje podataka o stanju signalne opreme, stanju prometa te o meteorološkim uvjetima na prometnici prema korisničkim sučeljima na samoj prometnici prije i kroz tunel.

**Sustav video nadzora i automatske video detekcije** ima za funkciju nadzor odvijanja prometa, automatsku detekciju incidentnih situacija te arhiviranje video zapisa. Video kamere omogućavaju prikaz situacije na monitorima u kontrolnom centru a imaju mogućnost automatske detekcije prometnih incidenata: zastoja, vožnje u suprotnom smjeru, očitovanja broja, vrste i brzine kretanja vozila. Detektorske petlje s podacima automatskog video sustava daju potpune podatke prometnoj centrali radi prevencije zastoja.

**Sustav daljinskog upravljanja i nadzora** ima za svrhu nadzor i upravljanje nad sljedećim podsustavima: rasvjetom, ventilacijom, energetsom opskrbom, potom nadzor vodosprema, hidrantske mreže te nadzor pristupa u objekte svih tunnelskih sustava.

**Sustav vatrodojave** signalizira pojavu vatre u tunelu. Njegove funkcije su detekcija požara putem vatrodojavnog kabela, detekcija požara putem točkastih senzora i javljača te prikaz temperaturnoga profila vatrodojavnog kabela. Vatrodojavni kabel je uređaj koji ima za svrhu motrenje temperaturnog stanja atmosfere u kojoj se nalazi a

smješten je na vrhu tunelske cijevi po cijeloj njezinoj duljini, dok se točkasti senzori i javljači nalaze duž tunela smješteni na određenim razmacima.

**SOS pozivni sustav** služi za primanje SOS poziva iz pozivnih uređaja smještenih unutar tunela te za preusmjeravanje SOS poziva na vanjske linije. Duž tunelske cijevi postavljeni su telefonski pozivni stupići ili kućice putem kojih se u slučaju kvara, nezgode ili bilo kojeg drugog incidenta obavještava i poziva u pomoć operatera u kontrolnom centru.

**Sustav razglasa** postavljen je sa svrhom davanja potrebnih informacija ili uputa korisnicima tunela, koji su zaustavljeni u tunelu radi nekog prometnog ili drugog incidenta. Sastoji se od zvučnika postavljenih uzduž tunela, pojačala i komunikacijske mreže.

**Funkcije sustava radio veza** su: ostvarivanje radio veza za službene korisnike, emitiranje radio programa te ostvarivanje veza za mobilnu telefoniju. Ovakav sustav se ugrađuje u tunele dulje od 1000 m.

Iz svega navedenog proizlaze potrebne karakteristike centralnih upravljačkih jedinica za video nadzor, promjenjivu prometnu signalizaciju, vatrodojavu, SOS pozivnog centra, sustava razglasa i radio veza te sustava za daljinsko upravljanje i nadzor elektroenergetskih postrojenja:

- mogućnost kontinuiranog praćenja stanja i povijesti događaja,
- mogućnost preuzimanja kontrole nad sustavom od strane operatera u bilo kojem trenutku,
- automatsko preuzimanje kontrole nad sustavom ili dijelom sustava u slučaju kvara.

### **3. REGULATIVA SIGURNOSTI PROMETA U SREDNJE DUGIM I DUGIM TUNELIMA**

Kako se vožnja tunelom razlikuje od vožnje na otvorenoj cesti, ima svoje zakonitosti i zadanu dinamiku vožnje (zabranjeno je okretanje ili polukružno okretanje, vožnja unatrag, zaustavljanje i parkiranje vozila na prometnim trakama te je obavezna upotreba kratkih svjetala). Uza sve navedeno postoji i problem na adaptaciju oka na razinu osvjjetljenja pri ulasku ili izlasku vozila, stoga je potrebno održavanje propisanog sigurnosnog razmaka od vozila te strogo pridržavanje propisane brzine vožnje, koja je u pravilu niža od ograničenja na otvorenoj cesti koja ulazi u tunel.

Zakonom regulirana pravila sigurnosti posebno su značajna u incidentnim situacijama kada je ugrožena sigurnost odvijanja prometa te čak i ljudski životi. Zato se kako bi se što brže i ispravnije reagiralo u takvim situacijama provodi redovito održavanje tunela te redovite vježbe kojima se simuliraju incidentne situacije, kao što su: prometne nesreće, izlivanje opasnog tereta, požar u tunelu, itd.

#### **3.1. Održavanje tunela**

Održavanje tunela regulirano je temeljem „Pravilnika o održavanju cesta“ (NN 90/2014). Njime se pobliže uređuju vrste, rokovi i opseg izvođenja radova redovitog i izvanrednog održavanja javnih cesta i objekata (tuneli, mostovi, nadvožnjaci, ...) te kontrola i nadzor nad izvođenjem tih radova. Održavanje ima za cilj omogućiti sigurno odvijanje prometa. Kod održavanja tunela primjenjuje se redovno i izvanredno održavanje. U redovno održavanje tunela spada čišćenje prometnih površina ispred tunela i u samom tunelu, rigola i odvodnih kanala, zatim popravak oštećenja na kolniku, kontrola hidroizolacije tunelske obloge, redovito održavanje i servisiranje svih dijelova elektrosustava, obnova i uređenje signalizacije i svih ostalih sustava i podsustava koji se koriste u tunelima.

Zbog sigurnosti sudionika u prometu u razdoblju obavljanja radova u tunelima provodi se povremena posebna regulacija prometa. Regulacija prometa postavlja se sukladno radovima i tipu tunela na način da će za promet biti zatvorena jedna cijev dvocijevnog tunela. Svi planirani radovi redovitog održavanja tunela, naravno i kompletne autoceste, završavaju se prije početka turističke sezone.

U redovne aktivnosti ubrajaju se i pokazne vježbe gašenja požara, spašavanja i evakuacije u slučaju nesreće (slika 17.). Ove vježbe imaju za cilj uvježbavanje, provjeru operativne sigurnosti i spremnosti te usklađenosti svih čimbenika koji moraju djelovati u slučaju stvarne incidentne situacije u tunelu.



**Slika 17.** Redovita vježba prometne nesreće i požara u tunelu, Izvor: [5.]

U realizaciji vježbe sudjeluju vatrogasne ekipe, ekipe prve medicinske pomoći, ekipe prometne policije, a nadzor provode djelatnici Sektora za održavanje, te ovlaštene osobe samostalnog Odjela zaštite i sigurnosti na radu. Ovakve i slične vježbe Hrvatske autoceste provode na godišnjoj razini sukladno Planu zaštite od požara i evakuacije iz tunela, a temeljem Zakona o vatrogastvu i Zakona o zaštiti na radu, Pravilnika o minimalnim sigurnosnim zahtjevima za tunele te Europskim smjericama o minimalnim zahtjevima za sigurnost tunela u transeuropskoj mreži cesta.

### 3.2. Prijevoz opasnih tvari kroz tunele

Prijevoz opasnih tvari kroz tunele reguliran je temeljem Pravilnika o uvjetima i načinu prijevoza opasnih tvari dugim tunelima na autocesti A1 Zagreb – Split - Dubrovnik kojim se pobliže razrađuju pojedine odredbe „Zakona o zaštiti od požara“ (NN 92/2010) i „Zakona o prijevozu opasnih tvari“ (NN 79/2007) kojima se uređuju pitanja od značaja za sprečavanje štetnih događaja i posljedica tijekom prijevoza opasnih tvari dugim tunelima. Svrha i cilj primjene ovog pravilnika su:

- spriječiti nekontrolirano istjecanje ili prosipanje opasnih tvari i nastanka požara, eksplozije i drugih štetnih pojava, te spriječiti njihovo brzo širenje tunelom u slučaju prometnih i drugih nezgoda na prijevoznim sredstvima za prijevoz opasnih tvari,
- osigurati rano otkrivanje te pravodobnu i pravilnu dojavu štetnog događaja nakon njegova nastanka,
- osigurati uspješnost u brzom otklanjanju opasnosti od štetnog događaja i njegovih posljedica, te spašavanju ljudi i imovine koji su u tim događajima ugroženi.

Prijevoz opasnih tvari također je određen Međunarodnim sporazumom o prijevozu opasnih tvari - ADR (European agreement governing the international carriage of dangerous goods by road).

Suglasnost za prijevoz opasnih tvari dugim tunelima izdaje se samo onim prijevoznicima koji su udovoljili svim uvjetima sigurnosti „Zakonom o prijevozu opasnih tvari“ (NN 79/2007). U opasne tvari, za koje su zakonom propisani posebni uvjeti prometovanja kroz duge tunele, ubrajaju se:

- eksplozivne tvari,
- tvari označene šifrom opasnosti po ADR-u u kojoj je prvi broj 2 osim 20,
- tvari označene šifrom opasnosti po ADR-u koju čine dva jednaka broja,
- tvari označene šifrom opasnosti po ADR-u čija šifra počinje znakom X.

Prijevoznik je dužan prijevoz opasne tvari najaviti najmanje 60 minuta prije dolaska na mjesto prihvata i kontrole vozila. Prijevoz se najavljuje telefonom dežurnom djelatniku u centru za održavanje i kontrolu prometa, a mjesta prihvata i kontrole vozila koja prevoze opasne tvari su obilježena prometnim znacima i posebno su uređena za tu namjenu, a smještena su s desne strane prije ulaska u tunel iz oba prometna smjera.



Nakon što ovlaštteni službenik na mjestu prihvata i kontrole utvrdi da je prijevoznik udovoljio svim uvjetima za siguran prijevoz opasne tvari kroz tunel, izdaje se Suglasnost za prijevoz opasnih tvari. Prema Pravilniku prijevoznik je dužan osigurati propisanu pratnju (vatrogasci, policija) tijekom prijevoza opasnih tvari tunelom (slika 18.).



**Slika 18.** Pratnja uz prijevoz opasne tvari tunelom, Izvor: [6.]

Kroz duge tunele na autocesti A1 Zagreb – Split - Dubrovnik kao što su npr. Sveti Rok i Mala Kapela dozvoljen je isključivo pojedinačan prijevoz eksplozivnih tvari, te pojedinačan i skupni prijevoz ostalih opasnih tvari označenih šifrom opasnosti po ADR-u. Tijekom prijevoza eksplozivnih tvari obustavlja se promet tunelskom cijevi kroz koju se prijevoz obavlja. Kod pojedinačnog prijevoza opasnih tvari promet se odvija bez ograničenja, dok se prilikom skupnog prijevoza opasnih tvari, kod kojeg smiju sudjelovati najviše tri prijevozne jedinice promet obustavlja tunelskom cijevi kroz koju se prijevoz obavlja. Na temelju analize rizika, izrađene sukladno odredbama Zakona o prijevozu opasnih tvari i Priloga A i B Europskog sporazumu o cestovnom prijevozu opasnih tvari, određuje se kategorizacija tunela i ograničenja provoza kroz sljedeće tunele kao što je prikazano u tablici 2.



**Tablica 2.** Kategorizacija tunela i ograničenja provoza., Izvor: [7.]

Oznaka ceste	Tunel		Tijekom godine	Tijekom dana	Ograničenje
	Naziv i duljina	Kod tunela			
A1	Mala Kapela 5780 m	A	od 16.9. do 14.6.	24 sata	BEZ OGRANIČENJA
	Plasina 2300 m	D (D/E)	od 15. 6. do 15. 9.	od 05:00 do 22:00	ZABRANA PROMETOVANJA Za opasne tvari tunelskog kôda D, E
	Sveti Rok 5670 m	A	od 15. 6. do 15. 9.	od 22:00 do 05,00	BEZ OGRANIČENJA

### 3.3. Standardni operativni postupci u slučaju nesreće u tunelu

Standardnim operativnim postupkom (SOP) uređuje se način djelovanja Centara 112 u slučaju prometne nesreće u tunelu od trenutka dojave o prometnoj nesreći do završetka akcije zaštite i spašavanja (komunikacijski put) te obveze sudionika u akciji zaštite i spašavanja.

Sudionici zaštite i spašavanja u prometnim nesrećama u tunelu su:

- Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi (putem hitne medicinske pomoći),
- Ministarstvo unutarnjih poslova,
- Ministarstvo obrane Republike Hrvatske,
- Hrvatske autoceste d.o.o., Autocesta Rijeka – Zagreb d.d.,
- Javne vatrogasne postrojbe,
- Državna uprava za zaštitu i spašavanje.

Sudionici zaštite i spašavanja navedeni u ovom SOP-u, sukladno poslovima iz njihove nadležnosti propisanih važećim pravnim propisima, u provedbi ovog SOP-a izvršavaju slijedeće:

- **Ministarstvo zdravstva i socijalne skrbi:**

- organizira sustav hitne medicinske pomoći na autocestama,
- na lokalnoj razini usuglašava postupke u provedbenim nalogima sa Centrom 112, sukladno ovom SOP-u,
- kod svake promjene (bilo personalne, organizacijske ili informacijske, a vezane za provedbu ovog SOP-a) podatke dostavlja Centru 112.

- **Ministarstvo unutarnjih poslova:**

- u suradnji sa pravnom osobom nadležnom za održavanje i upravljanje tunelom provodi regulaciju prometa od trenutka kada se dogodila nesreća, do trenutka kada su se sanacijom prostora osigurali svi uvjeti za normalno odvijanje prometa,
- obavještava Ministarstvo vanjskih poslova i europskih integracija, ukoliko među nastradalima ima stranih državljana,
- u slučaju dužeg prekida prometa na autocesti, policija obavještava i granične prijelaze radi potrebe preusmjerenja prometa (ako je turistička sezona),
- na lokalnoj razini provedbenim nalogima usuglašava postupak u slučaju prometne nesreće sa Centrom 112, sukladno ovom SOP-u,
- kod svake promjene (bilo personalne, organizacijske ili informacijske, a vezane za provedbu ovog SOP-a) podatke dostavlja Centru 112.

- **Ministarstvo obrane:**

- u slučaju teške prometne nesreće, a na zahtjev DC 112, u akciju spašavanja uključuje raspoložive namjenski organizirane snage i sredstva,
- kod svake promjene (bilo personalne, organizacijske ili informacijske, a vezane za provedbu SOP-a) podatke dostavlja u DC 112.

- **Nadležna pravna osoba za održavanje i upravljanje:**

- osigurava funkcioniranje sigurnosnih sustava tunela u cilju ranog uočavanja opasnosti i brzog alarmiranja i intervencije svih operativnih službi tunela (operateri, vatrogasna služba, ophodarska služba i drugi),
- raspoloživim snagama i sredstvima provodi gašenje požara, evakuaciju i spašavanje unesrećenih iz tunela,
- o nesreći izvješćuje Centar 112 i po potrebi Hrvatski Autoklub,
- u slučaju onečišćenja okoliša obavještava nadležne inspekcijske i druge službe te organizira sanaciju,
- nakon nesreće uspostavlja normalno stanje na prometnici radi nastavka nesmetanog odvijanja prometa,
- na lokalnoj razini provedbenim naputcima usuglašava postupak u slučaju prometne nesreće sa Centrima 112, sukladno SOP-u,
- kod svake promjene (bilo personalne, organizacijske ili informacijske, a vezane za provedbu SOP-a) podatke dostavlja Centru 112.

- **Javna vatrogasna postrojba:**

- Javna vatrogasna postrojba u suradnji sa pravnom osobom nadležnom za održavanje i upravljanje tunelom provodi spašavanje unesrećenih i osigurava mjesto nesreće od mogućeg nastanka požara, a u slučaju požara sudjeluje u gašenju,
- Županijski vatrogasni zapovjednik uključuje se u stožer akcije spašavanja,
- Javna vatrogasna postrojba o svom sudjelovanju u akciji zaštite i spašavanja izvješćuje nadležni Centar 112.

- **Državna uprava za zaštitu i spašavanje:**

- Centar 112 prima i prenosi informacije nadležnim službama, tijelima državne i lokalne uprave te po pozivu i zahtjevu upućenom sa mjesta događaja koordinira komunikacijsko djelovanje svih sudionika,
- izvješćuje operativne centre pravne osobe nadležne za održavanje i upravljanje tunelom o poduzetim mjerama,
- prati efikasnost provedbe akcija zaštite i spašavanja po SOP-u, te u suradnji sa sudionicima po potrebi pokreće postupak njegove izmjene,
- Centar 112 vodi i ažurira bazu podataka o svim sudionicima zaštite i spašavanja prema obrascu koji je u prilogu SOP-a ,
- Služba za sustav 112 u centrima 112 osigurava informatičku implementaciju SOP-a.

### 3.4. Europski program procjene sigurnosti prometa u tunelima

EuroTAP (European Tunnel Assessment Programme ) je jedan od ukupno osam istraživačkih projekata o sigurnosti tunela. U program EuroTAP uključeno je 11 automobilskih klubova iz 10 europskih zemalja. Ovo istraživanje izravno je povezano uz podizanje razine sigurnosti cestovnog prometa, a pokrenuto je na temelju Europske direktive 2004/54/EC koja govori o sigurnosti tunela. Od Hrvatskih predstavnika u EuroTAP-u sudjeluje Hrvatski auto klub (HAK) koji je članom postao 2005. godine. EuroTAP ima za cilj, osim podizanja tehničke razine sigurnosti, obavještanje i upozoravanje vozača o ponašanju u tunelima, osobito kada dođe do zastoja, kvarova, nesreća ili požara. Tome je uvelike pridonijela činjenica da je oko 95% svih nesreća na cestama uzrokovano zbog nepropisnog ponašanja vozača. Tuneli su objekti velike kompleksnosti u mnogim pogledima te upravo iz tog razloga moraju udovoljavati vrlo rigoroznim sigurnosnim standardima. Iz tog razloga provodi se i EuroTAP program testiranja tunela, koji je baziran na sigurnosnim standardima prema zakonu donesenom u Europskom parlamentu i iz zbog toga je isti za sve europske tunele.

Princip testiranja tunela tzv. Check-listu su pripremili prometni stručnjaci ADAC-a (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club) i DMT-a i ona je revidirana svake godine i služi kao objektivni temelj za testiranje. Check-lista je također bazirana na visokim standardima za sigurnost cestovnih tunela u Njemačkoj, Austriji, Francuskoj i Velikoj Britaniji, kao i na Direktivi EU o minimalnim sigurnosnim standardima za tunele u trans-europskoj transportnoj mreži, koja je usvojena u travnju 2004.

Princip testiranja obuhvaća osam kategorija:

- ***Tunelski sistem*** ***donosi 14 %***
  - broj cijevi
  - širina i izvedba prometnih trakova
  - geometrija i izvedba traka za slučaj opasnosti / ugibališta i pješački putovi za slučaj opasnosti
  - svjetlina tunelskih zidova
  - dodatne mjere: dizajn portala, površina ceste, tunelska ruta
  
- ***Rasvjeta i opskrba električnom energijom*** ***donosi 8 %***
  - rasvjeta u tunelu i zone prilagodbe
  - opskrba el. energijom i opskrba u slučaju opasnosti

- **Promet i nadzor prometa** **donosi 16 %**
  - tip prometa: jednosmjerni / dvosmjerni promet
  - zastoji u tunelu
  - kontrolni centar
  - restrikcije i/ili registracija vozila koje prevoze opasne tvari
  - automatsko detektiranje prometa i zastoja
  - video nadzor
  - prometni menadžment i kontrola: semafori, promjenjivi prometni znakovi, znakovi
  - mjere zatvaranja tunela: sistem svjetlosnih znakova, barijere, informativni paneli
  - prometni znakovi
  - oprema za vizualno vodstvo
  - dodatne mjere: npr. za teška teretna vozila, ograničenja brzine, nadzor razmaka između vozila i brzine, automatsko raspoznavanje transporta opasnih tvari, kontrola visine
  
- **Komunikacija** **donosi 11 %**
  - zvučnici
  - prometni radio
  - telefoni za nuždu: znaci, funkcioniranje, izolacija od prometne buke
  - tunelski radio
  
- **Putovi za evakuaciju i spašavanje** **donosi 14 %**
  - razmak između izlaza za nuždu i označavanje
  - sprečavanje dima da prodi u putove za evakuaciju, vatrootporna vrata
  - rasvjeta u nuždi i znakovi za putove za evakuaciju u tunelu
  - vanjski pristup i pristup za spasilačke službe
  - dodatne mjere: posebna rasvjeta izlaza za nuždu, znakovi koji pokazuju što činiti, izlazi za nuždu bez prepreka
  
- **Zaštita od požara** **donosi 19 %**
  - zaštita od požara tunelske strukture
  - vatrootporni kablovi
  - protupožarni alarmni sistem: automatski/ručni
  - sistemi gašenja: uređenje, znakovi, funkcioniranje
  - sistem kanala i odvodnje
  - vrijeme potrebno za doći u tunel, obuka vatrogasaca i oprema

- **Ventilacija**

**donosi 11 %**

- Ventilacija u normalnim uvjetima
- posebni programi za požar
- kontrola longitudinalnog toka u tunelu i razmatranje istog u kontroli ventilacije
- temperaturna stabilnost uređaja i opreme
- ispitivanje ispravnog funkcioniranja u protupožarnim vježbama i mjerenjima toka
- longitudinalna ventilacija: brzina zračnog toka, dužina ventilacijskog odsjeka, zračni tok u smjeru prometa, reverzibilni ventilatori
- transverzalna/polu-transverzalna ventilacija: tok obima izbacivanja zraka, kontrola longitudinalnog toka, kontrola otvaranje i zatvaranje otvora za ispušne plinove

- **Menadžment hitnih situacija**

**donosi 7 %**

- planovi hitnih intervencija
- automatsko povezivanje sistema za hitne situacije
- redovne vježbe hitnih intervencija
- redovna obuka za osoblje tunelskog kontrolnog centra
- plan održavanja

Kategorije: tunelski sistem, rasvjeta i opskrba el. energijom kao i promet i nadzor prometa su primarno preventivne mjere; kategorije: putovi za evakuaciju i spašavanje i ventilacija su mjere samospašavanja i spašavanja i kategorije: zaštita od požara, menadžment hitnih situacija i komunikacija su mjere koje su potrebne za postizanje kontrole hitnih situacija. Provedeno testiranje omogućuje određivanje tzv. sigurnosnog potencijala tunela, te na koji način strukturalne, tehničke i organizacijske mjere mogu pomoći da se izbjegnu ili savladaju krizne situacije.

## 4. ZNAČAJKE SREDNJE DUGIH I DUGIH TUNELA NA AUTOCESTI A1

Na autocesti A1 Zagreb – Split – Dubrovnik do sada je izgrađeno 376 cestovnih objekata, od koji se 12 odnosi na srednje duge i duge tunele. Posljedica je to izuzetno teške i zahtjevne trase kojom autocesta A1 prolazi, a uključuje Liku i Velebit. Izgradnjom tunela kroz te prostore skraćuje se vrijeme putovanja uz minimalno narušavanje okoliša što predstavlja optimalno građevinsko rješenje u pogledu zaštite krajobraza.

Podjela tunela prema duljini:

- Sasvim kratki (do 50m)
- Kratki (50 – 500m)
- Srednje dugi (500 – 2200m)
- Dugi (2200 – 4000m)
- Vrlo dugi (preko 4000m)

U tablici 3. navedeni su podaci o dužini i broju tunelskih cijevi srednje dugih i dugih tunela na autocesti A1.

**Tablica 3.** Srednje dugi i dugi tuneli na A1 (dužina i broj cijevi), Izvor: [6.]

REDNI BROJ	OBJEKT	DUŽINA (m)	BROJ CIJEVI
1.	Tunel Mala Kapela	5.800	dvije
2.	Tunel Brinje	1.561	dvije
3.	Tunel Plasina	2.300	dvije
4.	Tunel Grič	1.244	dvije
5.	Tunel Sveti Rok	5.727	dvije
6.	Tunel Ledenik	760	dvije
7.	Tunel Bristovac	688	dvije
8.	Tunel Dubrave	853	dvije
9.	Tunel Konjsko	1.198	dvije
10.	Tunel Bisko	520	dvije
11.	Tunel Stražina	584	dvije
12.	Tunel Šubir	825	dvije

**Tunel Mala Kapela** (slika 19.) jedan je od najznačajnijih objekata na autocesti A1 Zagreb – Split – Dubrovnik te je sa svojih 5800 m dužine najduži tunel u Republici Hrvatskoj. Mala Kapela je dvocijevni tunel koji se nalazi na dionici Josipdol - tunel Mala Kapela a svaka cijev ima po dva vozna traka. Sjeverni ulaz (portal) u lijevu cijev tunela



Mala Kapela nalazi se na nadmorskoj visini od 562,00 m.n.m. a južni ulaz (portal) na nadmorskoj visini od 575,00 m.n.m. Lijeva tunelska cijev je dugačka 5.821,77 m a desna 5.780,00 m. Zapadna cijev tunela puštena je u promet 15. lipnja 2005. godine. Do 30. svibnja 2009. kada je otvorena istočna cijev ovoga tunela promet se odvijao uglavnom dvosmjerno jedinom zapadnom cijevi tunela, osim u vrhuncima turističke sezone kada se povremeno regulirao jednosmjerno. Istočna cijev u promet je puštena 30. svibnja 2009. Obje tunelske cijevi su opremljene ventilacijom, potpunom svjetlosnom i znakovnom signalizacijom, izlazima u slučaju nužde, proširenjima za zaustavljanje u slučaju nužde a same cijevi su na više mjesta povezane manjim prolazima u slučaju da jedna od cijevi bude blokirana, pri čemu je šest prolaza namijenjeno za vozila a 14 za pješake. Tunel je opremljen najmodernijim sustavom za nadzor i upravljanje prometom. Nadzor se provodi svakodnevno 24 sata iz Centra za održavanje i kontrolu prometa (COKP) Mala Kapela. Dozvoljena brzina vožnje kroz tunel iznosi 100 km/h.



**Slika 19.** Tunel Mala Kapela, Izvor: [9.]

**Tunel Brinje** nalazi se na dionici Tunel Mala Kapela - Žuta Lokva autoceste Zagreb – Split – Dubrovnik. Brinje je dvocijevni tunel gdje svaka cijev ima dva vozna traka. Duljina lijeve tunelske cijevi iznosi 1561,29 m, a desne 1560,00 m. Sjeverni portal tunela nalazi se na nadmorskoj visini od 496,00 m.n.m. a južni na 495,00 m.n.m. Tunel Brinje opremljen je automatskim sustavom za otkrivanje požara i vatrodjaju duž cijelog tunela, te je osigurano 24-satno dežurstvo vatrogasne postaje HAC-a. Iz navedenih

razloga uz zadovoljavanje i ostalih sigurnosnih uvjeta tunel Brinje proglašen je prema EuroTAP-ovom istraživanju sigurnosti u tunelima najboljim tunelom 2007. godine u konkurenciji od 51 tunela diljem Europe. Dozvoljena brzina vožnje kroz tunel iznosi 100 km/h.

**Tunel Plasina** nalazi se na dionici Žuta lokva - Ličko Lešće autoceste Zagreb – Split – Dubrovnik. Plasina je dvocijevni tunel svaka cijev je dugačka 2300,00 m i ima dva vozna traka. Sjeverni portal tunela nalazi se na nadmorskoj visini od 532,00 m.n.m. a južni na 547,00 m.n.m. Dozvoljena brzina vožnje kroz tunel iznosi 100 km/h.

**Tunel Grič** nalazi se na dionici Ličko Lešće - Lički Osik autoceste Zagreb – Split – Dubrovnik. Grič je dvocijevni tunel svaka cijev ima dva vozna traka. Duljina lijeve tunelske cijevi iznosi 1235,00 m a desne 1253,00 m. Sjeverni portal tunela nalazi se na nadmorskoj visini od 614,00 m.n.m. a južni na 627,00 m.n.m. Dozvoljena brzina vožnje kroz tunel iznosi 100 km/h.

**Tunel Sveti Rok** (slika 20.) je dvocijevni tunel koji se nalazi se na dionici tunel Sveti Rok - Maslenica autoceste Zagreb – Split – Dubrovnik. Duljina lijeve tunelske cijevi iznosi 5767,02 m a desne 5698,00 m a promet se odvija kroz obje cijevi za svaki smjer posebno. Sjeverni portal tunela nalazi se na nadmorskoj visini od 561,00 m a južni na nadmorskoj visini od 510,00 m. Zapadna cijev tunela otvorena je 2003. godine, dok je istočna otvorena 30. svibnja 2009. Tunel prolazi kroz Velebit u koridoru velebitskog prijevoja Malog Alana. Tunel je opremljen najmodernijim sustavom za nadzor i upravljanje prometom a upravljanje i nadzor se provode svakodnevno 24 sata iz Centra za upravljanje i kontrolu prometa (COKP) Sveti Rok. Dozvoljena brzina vožnje kroz tunel iznosi 100 km/h.



**Slika 20.** Južni ulazni portal tunela Sveti Rok s opremom i signalizacijom Izvor: [9.]

**Tunel Ledenik** nalazi se na dionici tunel Sveti Rok - Maslenica autoceste Zagreb – Split – Dubrovnik. Ledenik je dvocijevni tunel a svaka cijev ima dva vozna traka. Duljina lijeve tunelske cijevi iznosi 752,41 m a desne 768,00 m. Sjeverni portal tunela nalazi se na nadmorskoj visini od 445,11 m.n.m. a južni na 433,94 m.n.m. Dozvoljena brzina vožnje kroz tunel iznosi 80 km/h.

**Tunel Bristovac** nalazi se na dionici tunel Sveti Rok - Maslenica autoceste Zagreb – Split – Dubrovnik. Bristovac je dvocijevni tunel a svaka cijev ima dva vozna traka. Duljina lijeve cijevi iznosi 656,92 m a desne 700,34 m. a. Sjeverni portal tunela nalazi se na nadmorskoj visini od 419,11 m.n.m. a južni na 400,10 m.n.m. Dozvoljena brzina vožnje kroz tunel iznosi 80 km/h.

**Tunel Dubrave** nalazi se na dionici Vrpolje - Prgomet autoceste Zagreb – Split – Dubrovnik. Dubrava je dvocijevni tunel svaka cijev ima dva vozna traka. Duljina lijeve cijevi iznosi 868,50 m a desne 837,50 m. Sjeverni portal tunela nalazi se na nadmorskoj visini od 266,80 m.n.m. a južni na 268,10 m.n.m. Dozvoljena brzina kroz tunel iznosi 100 km/h.

**Tunel Konjsko** nalazi se na dionici Prgomet - Dugopolje autoceste Zagreb – Split – Dubrovnik.. Konjsko je dvocijevni tunel a svaka cijev ima dva vozna traka. Duljina lijeve cijevi iznosi 1261,70 m a desna 1133,80 m. Sjeverni portal tunela nalazi se na

nadmorskoj visini od 343,70 m.n.m. a južni na 338,70 m.n.m. Dozvoljena brzina kroz tunel iznosi 100 km/h.

**Tunel Bisko** nalazi se na dionici Dugopolje – Bisko autoceste Zagreb – Split – Dubrovnik. Tunel Bisko je dvocijevni tunel duljine 520 m i ima dva vozna traka. Duljina lijeve cijevi iznosi 517,87 m a desna 524,91 m. Sjeverni portal tunela nalazi se na nadmorskoj visini od 400,20 m.n.m. a južni na 392,30 m.n.m. Dozvoljena brzina vožnje iznosi 100 km/h.

**Tunel Stražina** nalazi se na dionici Bisko – Šestanovac autoceste Zagreb – Split – Dubrovnik . Tunel Stražina je dvocijevni tunel duljine 584 m. Obje cijevi imaju dva vozna traka. Duljina lijeve cijevi iznosi 613,43 m a desne 611,20m. Sjeverni portal tunela nalazi se na nadmorskoj visini od 278,80 m.n.m. a južni na 282,50 m.n.m. Dozvoljena brzina vožnje iznosi 100 km/h.

**Tunel Šubir** nalazi se na dionici Ravča – Ploče autoceste Zagreb – Split – Dubrovnik. Šubir je dvocijevni tunel a svaka cijev ima dva vozna traka. Duljina lijeve cijevi iznosi 825,00 m a desne 962,00 m.

## 5. PROBLEMATIKA ODVIJANJA PROMETA I OCJENA STANJA SIGURNOSTI TUNELA

Tunel je specifičan prometni objekt posebice gledano sa stanovišta sigurnosti sudionika u prometu te planiranja prometa kroz tunel. Prema podacima EuroTAP-a (European tunnel assessment programme) 95 % nesreća u tunelu posljedica je ljudskog faktora te je iz tog razloga iznimno važna ispravna i pravovremena informiranost vozača o pravilima vožnje i prometnim uvjetima koji vladaju u tunelu. S druge strane, kod prometnog incidenta, brzina reakcije centra za upravljanje prometom, izlaska interventnih ekipa vatrogasaca i hitne pomoći ovisi o pravovremenoj i korektnoj informiranosti s terena. Sustavi poput video nadzora, detekcije incidentnih situacija, automatskog postavljanja prometne signalizacije, ventilacije, rasvjete postaju ključni iz razloga pravovremene i učinkovite reakcije operativnih službi.

### 5.1. Problematika odvijanja prometa kroz tunel

Kako promet autocestom A1 Zagreb – Split – Dubrovnik stalno raste, a posebno je intenzivan u tijeku turističke sezone pojavljuje se problem informiranja i edukacije vozača iz različitih zemalja o pravilima vožnje u tunelu (slika 21.). Glavni problem koji je postojao s naša dva najduža tunela Malom Kapelom i Svetim Rokom riješen je u srpnju 2009. godine izgradnjom i puštanjem u promet drugih tunelskih cijevi čime se s dvosmjernog prešlo na jednosmjerni režim prometovanja tunelom. Rješenjem tog problema ni izbliza nije kraj unapređenjima i ulaganjima u sigurno odvijanje prometa tunelom. Stoga je naglasak stavljen na procjeni i tumačenju tzv. mogućnosti rizika. Ona se zasniva na sljedećim postavkama:

- Što je veći promet u tunelu, to je veća mogućnost da dođe do požara ili nezgode.
- Što je veći broj teških vozila, to je veća vjerojatnost izbijanja većeg požara.
- Ako se u požaru nađe i opasni materijal, to može dovesti do katastrofe zbog visokih temperatura i vrlo otrovnih plinova (Tunel Caldecott, Kalifornija, 1982., sedam smrtno stradalih; Tunel Nihonzaka, Japan, 1979., sedam smrtno stradalih). To znači da neograničeni prijevoz opasnih tvari znatno povećava opasnost od izbijanja požara.



- Vrsta prometa (jednosmjerni/dvosmjerni promet) i uvjeti odvijanja prometa (sporo odvijanje prometa/zakrčen promet) utječu na procjenu mogućnosti evakuacije i spašavanja.
- Uzdužni nagib tunela utječe na širenje dima. Što je veći nagib, to je jače dizanje topline pa prema tome je veće i područje u kojem se dim može širiti. Pored toga, što su veće dionice nagiba u tunelu to može dovesti do pregrijavanja kočnica i motora, posebice na teškim vozilima, pa i to povećava vjerojatnost izbijanja požara.

**Spasilački uređaji i mjesta za pružanje prve pomoći u tunelu**

- Ugibaliste za vozilo u kvaru
- Telefon za poziv u slučaju opasnosti (SOS)
- Vatrogasni aparat
- Naputak na izlazu u slučaju opasnosti
- Izlaz u slučaju opasnosti

**Najvažnije**

- Vodite računa o najvećoj dozvoljenoj brzini
- Držite propisani sigurnosni razmak između vozila
- Nikada ne vozite unatrag i ne okrećite se polukružno
- Gasite **sami** vatru jedino u početnoj fazi. Ako se vatra ne može ugasiti, odmah napustite tunel kroz izlaze za slučaju opasnosti

**Nikada nemojte zaboraviti:**  
Vatra i dim mogu prouzročiti smrt. Spasite svoj život, a ne automobil!

Za detaljnije informacije u vezi tunela:  
[www.hak.hr](http://www.hak.hr)

Ovaj letak je izdan od strane HAK i Eurotap-a, projekta sufinanciranog od Europske komisije.

Logos: ACI, ADAC, ANWB, RACC, HAK, TOURING, The AA Motoring Trust, HAK Hrvatski Autoklub, EuroTAP, HAK Hrvatski Autoklub, European Union

**Sigurno u tunelu**

Slika 21. Letak Hrvatskog autokluba „Sigurno u tunelu“, Izvor: [10.]

Planiranje prometa zasniva se na istraživanju prometa, studijama i analizama kretanja prometa, izradi i provjeri simulacijskih modela prometnih mreža simulacijom na računalu te analizom i konzaltingom u domeni prometne sigurnosti. Planiranju prometa u velikoj mjeri potpomažu inteligentni transportni sustavi kao što su: sustav daljinskog vođenja i upravljanja, prometno – informacijski sustav, automatska detekcija incidenata

(dim u tunelu, zaustavljeno vozilo u tunelu, prepreke na kolniku poput pješaka ili rasutog tereta, neočekivano male brzine kretanja vozila, itd.), sustav za prepoznavanje vangabaritnih vozila, sustav automatskog prepoznavanja registarskih oznaka vozila, praćenje prometa opasnih dobara, centar za upravljanje i kontrolu prometa.

## 5.2. Ocjena stanja sigurnosti tunela

Iako prometne nesreće u tunelima na sreću nisu česte, tuneli su posebno osjetljiva i kritična mjesta u kojima su potencijalno opasni i bezazleni zastoji te kvarovi na vozilima, dok obijesna vožnja, sudari ili požari mogu imati katastrofalne posljedice. Sve hrvatske autoceste pa tako i autocesta A1 Zagreb – Split – Dubrovnik po svim tehničkim karakteristikama, opremi i razini održavanja svrstava se u sam vrh te je u rangu s autocestama u najrazvijenijim europskim zemljama. Takva ocjena sigurnosti i kvalitete vrijedi i za hrvatske tunele što iz godine u godinu potvrđuju i neovisna istraživanja (EuroTAP).

Od početka testiranja tunela koje je započelo 2004. godine pod okvirom europskog projekta EuroTAP, testirane su stotine tunela u zemljama članicama Europske unije, a hrvatski tuneli posebno nakon modernizacije uvijek su se nalazili u samome vrhu po pitanjima opremljenosti i sigurnosti. Tome svjedoči i izvješće Hrvatskog autokluba za protekle godine:

- 2004. god. testirano je 50 tunela u EU od kojih su dva tunela testirana u RH: tunel Učka i tunel Tuhobić kada su oba tunela dobila ocjenu „jedva zadovoljavajući“.
- 2005. god. testirano je 49 tunela od kojih su u RH testirana dva tunela: tunel Javorova Kosa i Plasina pri čemu je tunel Javorova Kosa dobio ocjenu „zadovoljavajući“ dok je tunel Plasina ocijenjen kao „jako dobar“.
- 2006. god. testirana su 52 europska tunela od kojih dva tunela na autocesti A1: tunel Mala Kapela i tunel Grič, tunel Mala Kapela ocijenjen je s ocjenom „dobar“, a tunel Grič sa „jako dobar“ čime je zauzeo drugo mjesto po sigurnosti od testiranih tunela te godine.
- 2007. god. testiran je 51 tunel od kojih je jedan tunel testiran na autocesti A1: tunel Brinje, koji je ocijenjen najboljim u Europi s ocjenom „jako dobar“ (slika 22.).
- 2008. god testiran je 31 tunel od kojih je tunel Veliki Gložac ocijenjen kao „jako dobar“ te je zauzeo četvrto mjesto po sigurnosti od testiranih tunela te godine.

- 2009. tunel Tuhobić, u ponovljenom testu s dvije cijevi otvorene i nakon usvojenih smjernica EuroTAP stručnjaka osvaja drugo mjesto u Europi i najvišu ocjenu „jako dobar“.
- 2010. tunel Sveti Rok ima također najvišu ocjenu "jako dobar" .

Sve iznesene činjenice samo potvrđuju da visoke ocjene hrvatskih tunela nisu slučajnost već rezultat iznimnih napora i velikih sredstava uložениh kako bi se osiguralo sigurno i neometano prometovanje novoizgrađenom mrežom autocesta.

Posebno vrijedi istaknuti tunel Brinje koji je kako je već i ranije rečeno proglašen najsigurnijim tunelom u 2007. godini u konkurenciji od 51 tunela iz europskih zemalja. Tunel Brinje dvocijevni je tunel, koji se nalazi na dionici Mala Kapela - Žuta Lokva, autoceste A1 Zagreb - Split - Dubrovnik. Duljina lijeve tunelske cijevi iznosi 1542 m, a desne 1540 m. Za promet je otvoren od 2004. godine, a u funkciji su obje tunelske cijevi. Maksimalna dopuštena brzina vožnje iznosi 100 km/h. Sjeverni portal tunela nalazi se na nadmorskoj visini od 496 m, a južni na nadmorskoj visini od 495 m. U poprečnom presjeku nalaze se dva vozna traka širine 3,5 m, dva rubna traka od 0,35 m te revizijske staze 0,9 m. Tunel je građen Novom austrijskom metodom (NATM), koja se pokazala prilagodljivom za različite geološke uvjete, koji se javljaju duž trase tunela. Ukupna vrijednost investicije iznosila je 270 mil. kn (36 mil. EUR-a).

Tunel je opremljen najmodernijim sustavom za nadzor i upravljanje prometom. Nadzor se provodi svakodnevno, 24 sata iz Centra za održavanje i kontrolu prometa (COKP) Brinje. Opremljen je video kamerama, koje omogućavaju prikaz situacije na monitorima u COKP-i, a imaju i mogućnost automatske detekcije zastoja, vožnje u suprotnom smjeru, očitovanja broja, vrste kretanja vozila i daju potpune podatke prometnoj centrali u cilju prevencije zastoja. Kroz sustav promjenjive prometne signalizacije provodi se informiranje u vidu upozorenja ili ograničenja vozačima. Korisnicima je na raspolaganju komunikacijski sustav za SOS intervencije, putem kojih se u slučaju kvara, ili nezgode obavještava i poziva u pomoć operatera u COKP-i. U tunelu se nalazi 10 SOS niša opremljenih telefonskim uređajima za poziv u pomoć. U svakoj tunelskoj cijevi postoji po jedno ugibalište za vozila duljine 40 m i širine 3,5 m. Pješачki prolazi za nuždu projektirani su kao veza dviju tunelskih cijevi, na svakih 240-300 m, a ukupno ih je 3.

Tunel Brinje ima automatski sustav za otkrivanje požara i vatrodojavu duž cijelog tunela, kao i ručne dojavljivače požara na portalima, opremljen je i hidrantskom mrežom te ručnim vatrogasnim aparatima. Osigurano je 24-satno dežurstvo vatrogasne postrojbe HAC-a, smještene na južnom portalu tunela Mala Kapela.



Sustavom radiodifuzije osigurano je ostvarivanje radioveza između radiostanica unutar tunela i vanjskih radiostanica, kao i za prijenos jednog, ili više javnih radio programa te davanje eventualnih obavijesti korisnicima, koji slušaju program unutar tunela. Putnici se izvještavaju putem radio-prijamnika i to na frekvenciji HR 1 - 102,3 MHz i HR 2 - 97,5 MHz. U tunelu je omogućeno i korištenje mobilnim telefonima.

51 EUROPEAN ROAD TUNNELS TESTED IN 2007														
ADAC	Data					Rating								
	Location	Length in km	Start of operation	Vehicles per day/ Percentage of trucks	Number of tubes	14% Tunnel system	8% Lighting & power supply	17% Traffic & traffic surveillance	11% Communication	13% Escape & rescue routes	18% Fire protection	11% Ventilation	8% Emergency management	OVERALL RATING
<b>A AUSTRIA</b>														
Herzogberg	A 2	2,0	1982/ 2005	17 110/ 20,1	2	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Schartnerkogel	A 9	1,3	1978	21 993/ 16	2	++	++	o	++	++	++	++	++	++
Strengen	S 16	5,9	2006	8 578/ 14	2	++	++	++	++	+	++	++	++	++
Langen	S 16	2,4	1991	9 939/ 13,8	2	++	++	o	++	++	++	++	++	++
Rannersdorf	S 1	1,9	2006	38 000/ 16	2	++	++	o	++	++	o	++	++	++
Niklasdorf	S 6	1,3	1986	20 049/ 27,2	2	++	++	-	++	-	+	+	+	+
Trebesing	A 10	0,8	2006	22 000/ 25	1	--	++	o	++	+	+	+	+	+
Dalaas	S 16	1,8	1979	10 170/ 15,7	1	+	++	-	++	o	o	+	++	+
<b>B BELGIUM</b>														
Kennedy	R 1	0,7	1969	145 000/30	2	o	++	o	--	+	o	o	--	-
<b>CH SWITZERLAND</b>														
Bruyères	A 1	1,9	2001	20 000/ 7	2	++	++	+	++	++	++	++	++	++
Spier	A 2	1,6	2002	61 382 /7,5	2	++	++	+	++	++	++	++	++	++
Seelsberg	A 2	9,3	1980	20 000/ 15,3	2	+	++	++	++	++	++	++	++	++
Arisdorf	A 2	1,4	1970	50 700/ 11	2	+	++	-	++	++	++	++	++	++
Mont Chemin	H 21	1,8	1993	10 700/ 14	1	o	++	-	+	-	o	o	-	o
Mosi	A 4	1,1	1964	10 150/ 6	1	-	++	++	++	--	+	--	++	-
<b>CZ CZECH REPUBLIC</b>														
Mrázovka	Ptzeňská- Dobříšská	1,5	2004	45 122/ 20	2	++	++	++	++	++	+	++	++	++
<b>D GERMANY</b>														
Tiergarten Spreebogen	B 96	2,4	2006	32 000/ 5	2	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Nollinger Berg	A 861	1,2	2002/ 2006	20 000/ 12	2	++	++	+	++	++	++	++	++	++
Malberg	B 260	1,5	2006	8 000/ 3,6	1	o	++	+	++	++	++	++	++	++
Burgholz	L 418	1,9	2006	40 000/ 11	2	++	++	o	++	++	++	++	++	++
Hugenwald	B 294	1,1	1985	18 566/ 5,6	1	+	++	-	++	--	-	o	o	o
Staufner	B 10	1,0	1997	17 920/ 16	1	o	+	--	-	+	-	-	-	-
Gernsbach	B 462	1,5	1997	10 000/ 15	1	+	++	--	-	--	+	-	-	-
<b>E SPAIN</b>														
Avenida de Portugal	Avenida de Portugal	1,3	2007	108 500/ 2	2	+	++	++	++	++	+	++	++	++
Sartego	AP 9	1,0	2004	15 996/ 10,6	2	++	++	o	--	+	-	++	-	+
Casares	AP 7	1,0	2002	16 515/ 13,1	2	++	++	++	--	++	--	++	o	o
Fabares	A 64	2,2	2003	14 000/ 9	2	++	+	+	--	+	o	+	--	o
l'Olleria	CV 40	1,0	1992/ 2002	22 000/ 12	2	++	++	++	--	--	--	++	o	o
Joanet	C 25	1,4	1995	10 880/ 25	1	o	+	++	--	++	--	o	-	o
Los Yébenes	N 401	0,9	1997	5 553/ 11	1	-	++	o	--	--	--	--	--	--
<b>F FRANCE</b>														
Hurtières	A 43	1,2	1997	10 260/ 34	2	++	++	++	++	+	o	++	++	++
Fourvière	A 6	1,9	1971	106 000/ 8	2	+	++	++	++	++	o	++	++	+
St. Germain	A 40	1,2	1989	21 631/ 29	2	+	++	+	++	+	--	o	o	+
Monaco	A 500	1,6	1992	15 200/ 5,6	1	o	++	++	+	--	--	++	++	o
<b>GB GREAT BRITAIN</b>														
Mersey Queensway	Mersey Queensway	3,2	1934	32 000/ 0	1	--	++	-	++	o	-	+	+	o
<b>HR CROATIA</b>														
Brinje	A 1	1,5	2004	9 043/ 7,1	2	++	++	++	++	++	++	++	++	++
<b>I ITALY</b>														
Colle Giardino	SS 4	4,5	2003	12 000/ 15	2	++	++	+	--	o	-	+	--	o
Colle Capretto	E 45	1,2	1974	10 000/ 30	2	o	++	--	--	--	--	+	--	o
Serra Rotonda	A 3	1,3	1970	1 250/ 35	2	++	--	--	--	--	--	--	--	o
Paci 2	A 3	1,1	1967	5 000/ 40	2	o	--	--	--	--	--	--	--	o
<b>N NORWAY</b>														
Granfoss	Rv 150	2,4	1992	29 000/ 8	2	+	++	+	+	o	o	+	+	+
Rælings	Rv 159	1,8	1998	27 500/ 7	2	++	++	-	++	+	-	o	o	+
Stromsås	E 134	3,8	2001	13 500/ 11	1	-	++	--	o	--	--	--	--	o
Hagan	Rv 4	2,6	2003	13 500/ 8	1	-	++	-	+	--	--	--	--	o
Grua	Rv 4	1,4	1992	6 750/ 13	1	-	+	--	o	--	--	--	--	o
<b>NL NETHERLANDS</b>														
Benelux I	A 4	0,9	1967	80 000/ 20	2	o	++	o	++	+	++	+	o	+
Velser	A 22	0,8	1957	60 000/ 12	2	o	++	o	++	-	o	--	--	o
<b>S SWEDEN</b>														
Lundby	E 6	2,1	1998	21 700/ 20	2	++	++	++	++	++	o	++	++	++
Södra Länken	Rv 75	4,0	2004	80 000/ 5	2	++	++	+	+	+	+	+	++	+
<b>CROSS-BORDER TUNNELS</b>														
Fréjus (F - I)	A 43/ 32	12,9	1980	4 743/ 55	1	--	++	++	+	o	+	++	+	+
Großer St. Bernhard (CH - I)	E 27	5,8	1964	1 604/ 10,9	1	+	++	++	o	--	++	++	++	o

Slika 22. EuroTAP tablica testiranih tunela u 2007. godini, Izvor: [10.]

## 6. ZAKLJUČAK

Ovim završnim radom analizirani su sigurnosni čimbenici odvijanja prometa u srednje dugim i dugim tunelima na autocesti A1 Zagreb – Split – Dubrovnik. Osnovni uvjeti sigurnosti analizirani su s obzirom na opremljenost tunela sigurnosnom opremom, upravljanje tunelima, održavanje i kontroliranje postojeće opreme te uvjeta vožnje kroz tunele. Testiranja su se provodila u sklopu EuroTAP projekta prema standardima koje je donio Europski parlament.

Kada se sagleda sve izneseno o sigurnosti prometovanja tunelima na autocesti A1 Zagreb – Split – Dubrovnik može se reći da je trenutno stanje jako dobro te zadovoljava sve uvjete za ugodno i sigurno odvijanje prometa. Rezultat je to godina neprekidnih ulaganja u poboljšanja i težnji da se korisnicima tunela omogući kvalitetna usluga te praćenje smjernica koje je sugerirala Europska komisija. Sve to rezultiralo je da tuneli na autocesti A1 svojim korisnicima pružaju osjećaj sigurnosti i povjerenja u svakom pogledu od opremljenosti tunela sigurnosnom opremom, inteligentnim sustavima za nadzor pa sve do postupanja operatera u kriznim situacijama.

Unatoč svemu istaknutom i dalje postoji veliki prostor za napredak i usavršavanje. Prije svega potrebno je omogućiti sinkroniziranu razmjenu informacija u realnom vremenu između službi koje su zadužene za promet. Isto tako nužno je utvrditi standarde prema kojima bi se u svim službama nabavljala i koristila ista oprema, jer to omogućava njihovo povezivanje u jedan sveobuhvatan sustav. Na taj način postiže se maksimalno iskorištenje upotrijebljene tehnologije i maksimalna sigurnost korisnika tunela, jer ono što danas imamo tek je dio onoga što se treba postići kako bi ostvario glavni cilj svih prometnica i objekata koji se na njima nalaze a to je nulta stopa smrtnosti u prometu.

## Literatura

- [1.] → I. Vrkljan, Provjetravanje, rasvjeta i opasnost od požara, Građevinski fakultet Rijeka, 2007.
- [2.] → <http://www.prometna-signalizacija.com>
- [3.] → <http://www.pismorad.hr/KatalogZnakova>
- [4.] → <http://www.dragec-promet.hr/ZnakoviOprema>
- [5.] → <http://www.duzs.hr/>
- [6.] → <http://nac.hr/hr>
- [7.] → Odluka o određivanju parkirališnih mjesta i ograničenjima za prijevoz opasnih tvari javnim cestama, Narodne novine, broj 114/2012
- [8.] → Standardni operativni postupak za djelovanje jedinstvenog operativno-komunikacijskog centra 112 u slučaju prometne nesreće u tunelu, Narodne novine, broj 174/2004
- [9.] → <http://www.gradimo.hr/>
- [10.] → <http://www.hak.hr/>
- [11.] → Pravilnik o održavanju cesta, Narodne novine, broj 90/2014
- [12.] → Zakon o zaštiti od požara, Narodne novine, 92/2010
- [13.] → Zakon o prijevozu opasnih tvari, Narodne novine, 79/2007

## Popis slika

Slika 1. Princip prirodne ventilacije tunela, Izvor: [1.].....	4
Slika 2. Uzdužni sustav provjetravanja tunela i koncentracija zagađenja, Izvor: [1.] .....	5
Slika 3. Uzdužni sustav provjetravanja sa ventilatorima u stropu tunela i koncentracija zagađenja, Izvor: [1.] .....	6
Slika 4. Sustav poprečnog provjetravanja tunela/uzdužni i poprečni presjek tunela s koncentracijom zagađenja, Izvor: [1.] .....	7
Slika 5. Sustav polupoprečno provjetravanja tunela/uzdužni i poprečni presjek tunela s koncentracijom zagađenja, Izvor: [1.] .....	7
Slika 6. Prikaz zona tunelske rasvjete, Izvor: [2.].....	10
Slika 7. Neki od znakova opasnosti, Izvor: [3.] .....	12
Slika 8. Neki od znakova izričitih naredbi, Izvor: [3.].....	13
Slika 9. Neki od znakova obavijesti, Izvor: [3.].....	13
Slika 10. Evakuacijska crta na oblozi tunela, Izvor: [3.] .....	14
Slika 11. Promjenjiva prometna signalizacija, Izvor: [3.] .....	15
Slika 12. Promjenjiva prometna signalizacija, Izvor: [3.] .....	15
Slika 13. Promjenjiva prometna signalizacija, Izvor: [3.] .....	16
Slika 14. Trake za zvučno upozoravanje vozača (zvučna traka), Izvor: [4.] .....	17
Slika 15. Vibracijska traka za usporenje prometa, Izvor: [4.] .....	17
Slika 16. Prikaz centra za održavanje i kontrolu prometa, Izvor: [2.] .....	19
Slika 17. Redovita vježba prometne nesreće i požara u tunelu, Izvor: [5.] .....	22
Slika 18. Pratlja uz prijevoz opasne tvari tunelom, Izvor: [6.].....	24
Slika 19. Tunel Mala Kapela, Izvor: [9.] .....	33
Slika 20. Tunel Sveti Rok, Izvor: [9.] .....	35
Slika 21. Letak Hrvatskog autokluba „Sigurno u tunelu“, Izvor: [10.] .....	38
Slika 22. EuroTAP tablica testiranih tunela u 2007. godini, Izvor: [10.].....	41

## Popis tablica

Tablica 1. Potrebne razine iluminacije prema brzini motornih vozila i gustoći prometa, Izvor: [2.].....	11
Tablica 2. Kategorizacija tunela i ograničenja provoza, Izvor: [7.] .....	25
Tablica 3. Srednje dugi i dugi tuneli na A1 (dužina i broj cijevi), Izvor: [6.] .....	32

## METAPODATCI

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTIITOSTI