

# Preventivne mjere sigurnosti i zaštite od požara u cestovnim tunelima

---

**Katalinić, Miljenko**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:200747>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-13**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Miljenko Katalinić

**PREVENTIVNE MJERE SIGURNOSTI I  
ZAŠTITE OD POŽARA U CESTOVNIM  
TUNELIMA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2016

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department

Professional graduate study of Safety and Protection

Miljenko Katalinić

**PREVENTIVE SAFETY AND FIRE  
PROTECTION MEASURES IN ROAD  
TUNNELS**

FINAL PAPER

Karlovac, 2016

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Miljenko Katalinić

**PREVENTIVNE MJERE SIGURNOSTI I  
ZAŠTITE OD POŽARA U CESTOVNIM  
TUNELIMA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:  
mr. sc. Đorđi Todorovski, dipl.ing.

Karlovac, 2016.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Studij: Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite  
Usmjerenje: Zaštita od požara Karlovac, 2016

### ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Miljenko Katalinić, bacc.ing.sec.

Matični broj: 0420414020

Naslov: Preventivne mjere sigurnosti i zaštite od požara u cestovnim tunelima

Opis zadatka:

- općenito o tunelima
- požari u cestovnim tunelima uz kratki osvrt na katastrofalne požare
- vrste opasnosti, mogući opasni događaji za vatrogasnu službu i specifičnosti razvoja požara u tunelima
- preventivne mjere sigurnosti i zaštite od požara u cestovnim tunelima na moguće opasne događaje
- prikaz rezultata istraživanja na taktičkom zadatku - požar vozila u tunelu

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

03/2016

05/2016

07/2016

Mentor:

mr.sc. Đorđi Todorovski, dipl.ing.

Predsjednik ispitnog povjerenstva:

dr.sc. Zlatko Jurac, prof.v.š

## PREDGOVOR

Katastrofalni tunelski požari koji su se dogodili prethodnih godina u europskim tunelima St. Gotthard, Mt Blanc i Tauern motivirali su me kao osobu požarne struke da se posvetim izradi završnog rada na temu preventivnih mjera sigurnosti i zaštite u tunelima. Neprihvatljivo mi je da u požarima sa smrtnim ishodom stradaju deseci ljudi i nastanu velike štete koje se mjere stotinama miliona eura, te da vrlo vrijedni i nužno potrebni infrastrukturni objekti kao što su veliki tuneli ostanu izvan uporabe mjesecima, a daje pritom sve bilo normalno i da nitko nije predvidio moguće katastrofalne događaje. Pregledom prikupljenih podataka i izvještaja koji su tada bili objavljeni, mišljenja sam daje bez stacionarnog sustava za gašenje/supresiju/kontrolu praktički nemoguće spriječiti razvoj požara prema katastrofalnom ishodu, ako su stvoreni povoljni uvjeti na požarištu.

Uvjeren sam da će katastrofalni požari u tunelima praktički uvijek uključivati izgaranje zapaljivih plinova i tekućina, te sam mišljenja da sa ugradnjom stabilnog sustava s pjenom, ispuniti će se optimalni sigurnosni zahtjevi u većem broju slučajeva.

Uz sve radne obveze uspio sam naći vremena za učenje, ponekad teško, ali na kraju uspješno. Veliko hvala mojoj obitelji, kolegama, prijateljima na strpljenju i pomoći koju su mi pružili za vrijeme školovanja.

Veliko hvala svim profesorima a posebno mentoru mr.sc. Đorđiju Todorovskom na strpljenju, zanimanju, savjetima i vremenu koje mi je posvetio kao mentor i profesor.

**Vatrogasni pozdrav „Vatru gasi brata spasi“**

Miljenko Katalinić, bacc.ing.sec.

## SAŽETAK

U radu je napravljen pregled sigurnosnih mjera tunelskih požara, većih akcidenata koji su se dogodili proteklih godina, europskih projekata usmjerenih prema povećanju razine sigurnosti od požara u tunelima, te uspoređeni zahtjevi međunarodno priznatih i nekih važnijih nacionalnih standarda i preporuka o sigurnosti tunela. Analizirani su mogući opasni događaji u cestovnim tunelima i različiti scenariji događanja, a posebna pažnja posvećena je interakciji između tih događaja i tradicionalnih metoda odgovora na njih, uz naglasak na istraživanje požarnih događaja.

Dokazano je da je tradicionalnim pristupom, bez primjene stacionarnog sustava za gašenje/supresiju/kontrolu požara, u pravilu nemoguće spriječiti razvoj požara prema katastrofalnom scenariju ako postoje odgovarajući uvjeti za takav razvoj. Također je dokazano da vatrogasne postrojbe koje su nadležne za gašenje pojedinih tunela redovito na raspolaganju imaju nedovoljne količine vode i pjenila za uspješan odgovor na veći požar po dolasku na požarište.

U osnovnim crtama prikazan je prijedlog stacionarnog sustava s pjenom za gašenje/supresiju/kontrolu požara u tunelu. Takva standardna procedura predstavljala bi alat uz čiju bi se pomoć mogle jasno eksperimentalno utvrditi i međusobno usporediti mogućnosti sustava raspršene vode, pjene i vodene magle pri reprezentativnim požarnim scenarijima. U tom smislu predloženo je da se na europskoj razini potakne daljnji razvoj istraživanja, posebno eksperimentalnih, koja bi dovela do razvoja sigurnosno optimalnih, a ekonomski prihvatljivih rješenja za sprječavanje ili ublažavanje najvećeg broja potencijalno katastrofalnih akcidentnih situacija.

Ključne riječi: sigurnost, cestovni tuneli, opasnosti u tunelima, zaštita od požara u tunelima

## **SUMMARY**

In this paper it is made an overview of the security measures against of tunnel fires, major accidents which occurred in recent years, European projects aimed at increasing the level of fire safety in tunnels, and are compared the requirements of internationally recognized and some major national standards and recommendations on tunnel safety. Analyzed are the possible dangerous events in road tunnels and different scenarios of events, and special attention was paid to the interaction between these events and the traditional methods of response to them, with an emphasis on research fire events.

It has been proven that the traditional approach, without the use of a stationary system for extinguishing / suppression / control system, generally impossible to prevent the development of fire toward the disastrous scenario if there are appropriate conditions for such development. It is also proven that the Fire Department that are responsible for firefighting certain tunnels regularly have available insufficient amount of water and they are concentrated on successful response to increasing of fire upon arrival at the fire site.

In the outline it was shown the proposed system with stationary foam fire extinguishing / suppression / control in the tunnel. Such a standard procedure would represent a tool with whose help could help clear experimentally determined and compared with each other possibilities water spray systems, foam and water mist in representative fire scenarios. In this sense, it is proposed to the European level to encourage the further development of research, especially experimental, leading to the development of optimal safety and economically acceptable solutions to prevent or mitigate the greatest number of potentially catastrophic accidents.

**Keywords:** Safety, road tunnels, hazard in tunnels, fire protection in tunnels



## SADRŽAJ:

Stranica

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA .....	I
PREDGOVOR .....	II
SAŽETAK .....	III
SADRŽAJ .....	IV
1. UVOD .....	1
1.1. PREDMET I CILJ RADA .....	2
1.2. IZVORI PODATAKA I METODE PRIKUPLJANJA .....	2
2. OPĆENITO O TUNELIMA (NAMJENA, VRSTE I OPASNOSTI U CESTOVNIM TUNELIMA) .....	3
2.1. VRSTE TUNELA .....	4
3. POŽARI U CESTOVNIM TUNELIMA UZ KRATKI OSVRT NA KATASTROFALNE POŽARE .....	7
3.1. NAJVEĆE TUNELSKES NESREĆE .....	7
4. VRSTE OPASNOSTI, MOGUĆI OPASNI DOGAĐAJI ZA VATROGASNU SLUŽBU I SPECIFIČNOSTI RAZVOJA POŽARA U TUNELIMA .....	12
4.1. SPECIFIČNOSTI RAZVOJA POŽARA U TUNELIMA .....	15
5. PREVENTIVNE MJERE SIGURNOSTI I ZAŠTITE OD POŽARA U CESTOVNIM TUNELIMA NA MOGUĆE OPASNE DOGAĐAJE .....	19
5.1. USTROJ DOJAVNOG CENTRA TUNELA MALA KAPELA .....	19
5.2. UPRAVLJANJE I NADZOR RASVJETE .....	21
5.3. VENTILACIJA .....	25
5.4. OPSKRBA VODOM, PRIKLJUČCI NA HIDRANTSKU MREŽU I SUSTAV ZA ODVODNJU .....	27
5.5. DETEKCIJA CO I SMANJENJA VIDLJIVOSTI .....	30

5.6. ELEKTROENERGETSKO NAPAJANJE.....	31
5.7. SUSTAV BESPREDKIDNOG NAPAJANJA (UPS).....	33
5.8. SUSTAV ZA DOJAVU POŽARA .....	34
5.9. TELEFONSKI POZIVNI SUSTAV (SOS) TUNELA .....	37
5.10. SUSTAV VIDEO NADZORA TUNELA .....	39
5.11. PLAN UZBUNJIVANJA U TUNELU .....	41
5.12. DODATNE SIGURNOSNE MJERE U TUNELIMA.....	42
6. TAKTIČKI ZADATAK - POŽAR VOZILA U TUNELU.....	48
6.1. GAŠENJE POŽARA NA VOZILIMA U TUNELIMA .....	48
6.3. IZVJEŠĆE VATROGASNE INTERVENCIJE GAŠENJA POŽARA U TUNELU .....	54
6.4. IZVJEŠĆE O INTERVENCIJI .....	54
6.5. DOJAVNICA .....	56
7. ZAKLJUČCI.....	57
8. LITERATURA .....	58
9. PRILOZI.....	60
9.1. POPIS KORIŠTENIH KRATICA.....	60
9.2. POPIS SLIKA .....	61
9.3. POPIS TABLICA .....	61

## 1. UVOD

Problem istraživanja sigurnost prometa na cestama dio je opće sigurnosti svake zemlje. Sigurnost prometa je prvenstveno društvena, a potom gospodarska kategorija, koja je uvjetovana odnosima između čimbenika u sustavu sigurnosti prometa, tj. odnosima sudionika u prometu, vozila, prometne infrastrukture i drugih čimbenika u svom dinamičnom sustavu. Gotovo nijedna ljudska aktivnost ne odvija se bez određenog stupnja opasnosti. Cestovni motorni promet, u kojem svakodnevno sudjeluje praktično svatko, kudikamo je najopasniji oblik prometa. Stupanj cestovno prometne sigurnosti odražava prometnu kulturu i složenost svekolikih odnosa u modernim društvima. Prometnom nezgodom smatra se nezgoda na cesti u kojoj je sudjelovalo najmanje jedno vozilo u pokretu, i u kojoj je poginula ili ranjena jedna osoba ili više njih, ili je izazvana materijalna šteta. Uvriježeno je mišljenje da je ljudska greška uzrok većine prometnih nezgoda, a da je vrlo malo nezgoda uzrokovano kvarovima vozila, nedostacima ceste ili nepredvidivim utjecajem okoline. U svezi s tim, nužno je istaknuti da se samo složenim analizama može doći do stvarnih uzroka, izravnih ili neizravnih utjecaja svih elemenata sustava. Rezultat navedenih analiza trebao bi biti smanjivanje problema prometne sigurnosti na cestama upotrebom pasivnih ili aktivnih mjera te napretkom na svim područjima sigurnosti: od ponašanja čovjeka (vozača), preko tehnike projektiranja, građenja i korištenja cesta, inteligentnih sustava za upravljanje prometom, tehničkih propisa i normi, kvalitetnije konstrukcije vozila do primjene informatičkih noviteta u cestovnom prometu kao sustavu. U tom sustavu posebno mjesto imaju cestovni objekti–tuneli. To su građevinski zahtjevni objekti, a također su mjesta povećanog rizika zbog čega se u njima moraju primjenjivati posebno stroge mjere zaštite. Oni su također posebne dionice ceste koje zahtijevaju velika ulaganja u njihovu gradnju, održavanje i rad. Nakon nekoliko katastrofalnih nesreća u tunelima zadnjih godina (Mount Blanc, Tauern, Gothard), posvećuje se velika pažnja sigurnosnim mjerama kod gradnje i opremanja tunela.

## 1.1. Predmet i cilj rada

Nastavno na problem i predmet istraživanja postavljeni su svrha i ciljevi istraživanja, koji bi trebali ukazati na određene specifičnosti odnosno problematiku koja karakterizira sigurnost prometa, a posebno prometne nesreće, koje se negativno manifestiraju na stanje sigurnosti prometa te u konačnici predstavljaju gospodarski problem i značajno opterećenje za državni proračun. Pored toga svrha i cilj ovog rada jest analiza tunela kao posebnih dionica ceste, sigurnost prometa u tunelima općenito, kao i trenutna sigurnost tunela kao dijela cestovnog sustava. Prikazane su sve mjere koje se poduzimaju u svrhu sigurnosti, ali i one koje bi trebalo poduzimati da bi se izbjegli neželjeni katastrofalni događaji, kako bi se objektivno utvrdio stupanj sigurnosti cestovnog prometa, ali i koncepcija za povećavanje učinkovitosti, ekonomičnosti te profitabilnosti cestovnog prometa.

## 1.2. Izvori podataka i metode prikupljanja

Ovaj rad je rezultat sustavnog proučavanja dostupne stručne literature, istraživanja promatrane problematike cestovnih tunela, te predstavljanje zaštite i opasnosti.

Za izradu završnog rada korištena je metoda deskriptivne analize za opisivanje činjenica i procesa u sigurnosti cestovnih tunela te analiziranje tekstova preventivnih mjera vezanih za tematiku.

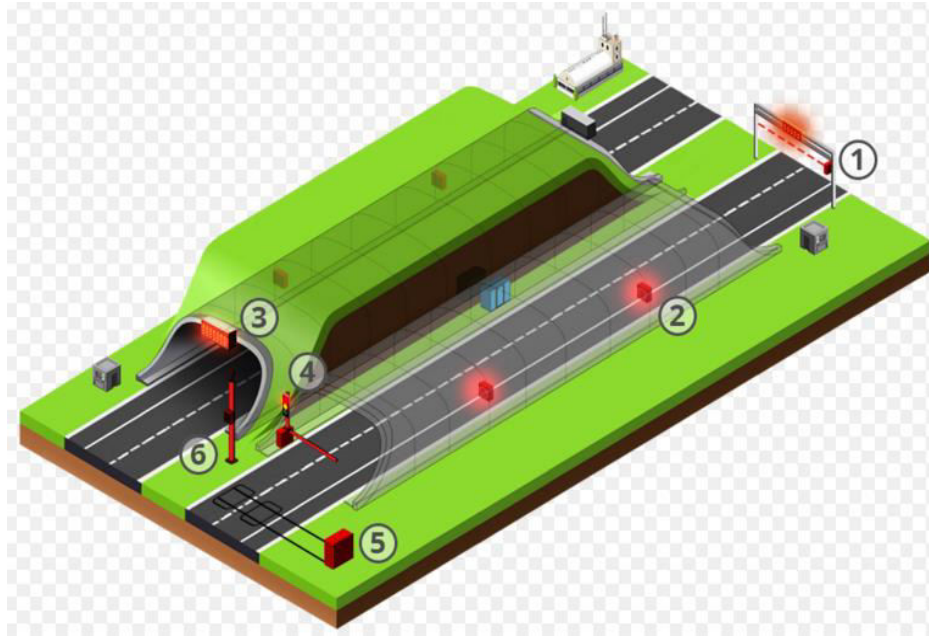
## 2. OPĆENITO O TUNELIMA (NAMJENA, VRSTE I OPASNOSTI U CESTOVNIM TUNELIMA)

Sigurnost prometa na cestama dio je opće sigurnosti svake zemlje. Vožnja tunelom razlikuje se od vožnje na otvorenoj cesti, ima svoje zakonitosti i zadanu dinamiku vožnje. Prometovanje kroz tunel predstavlja poseban rizik u prometu, stoga zahtijeva i poseban oprez, vozači najčešće nisu svjesni potencijalnih opasnosti koje ih u tunelu mogu zadesiti.

Uvaženo je mišljenje da je ljudska greška uzrok većine prometnih nezgoda, a da je vrlo malo nezgoda uzrokovano kvarovima vozila, nedostacima ceste ili nepredvidivim utjecajem okoline. U svezi s tim nužno je istaknuti da se samo složenim analizama može doći do stvarnih uzroka, izravnih ili neizravnih utjecaja svih elemenata na sustav čovjek–vozilo–cesta–okolina.

Tuneli su sastavni dijelovi cesta. Stoga prometni uvjeti u tunelima načelno trebaju odgovarati onima za cestu. Tuneli su, međutim, posebne dionice ceste koje zahtijevaju velika ulaganja u njihovu gradnju, održavanje i rad. Tuneli moraju ispunjavati posebne zahtjeve glede prometne i radne sigurnosti. Kod odabira između aspekta kakvoće odvijanja prometa i ekonomičnosti, u mnogim je slučajevima preporučljivo i opravdano da se proračunska brzina smanji u odnosu na otvoreni pravac.

Podzemne građevine u obliku cijevi otvorene na oba kraja, postavljene horizontalno ili u blagom nagibu, a kroz njih se provodi prometnica, željeznica, cesta, kanal ili vodni tok, koji spajaju dva dijela puta razdvojena preprekom koju nije moguće savladati na drugi način, nazivamo tunelima.(slika 1.) Najveći broj tunela, kako najdužih tako i onih po veličini kraćih, izrađen je za potrebe željezničkog prometa i prometa na vodi, a manji broj na autocestama i pješačkim putovima i ispod gradova. Uz mostove, tuneli se mogu svrstati u najsloženije inženjerske objekte za promet koji spajaju dva dijela prometnice razdvojene preprekom. [1]



Sl. 1. Tunel [1]

## 2.1. Vrste tunela

Prema namjeni tuneli se dijele na:

- prometni–metro, cestovni, plovni,
- hidrotehnički–dovodni i odvodni tuneli hidrocentrala, irigacioni tuneli itd.,
- komunalni kanalizacijski, kolektori itd.,
- tunele rudarske industrije za omogućavanje eksploatacije rudnih nalazišta.

Prema položaju na terenu tunele dijelimo na:

- brdske tunele (padinski, vododjelnički),
- podvodne tunele (ispod rijeka i zaljeva),
- gradske tunele (ispod naselja-metro).

Podjela tunela prema obliku tunelske osi:

- tuneli u pravcu,
- tuneli u pravcu s ulaznom ili izlaznom krivinom, ili s krivinama na oba kraja,

- kružni tuneli ili tuneli iz složenih lukova,
- tuneli helikoidalni (ako su u usponu i u punom krugu). [2]

Podjela tunela prema broju voznih traka:

- jednostručni tuneli,
- dvostručni tuneli,
- višestručni tuneli.

Postoji pet tunelskih kategorija koje imaju ove značajke:

- Tunelska kategorija A: Nema ograničenja za prijevoz opasnih tvari.
- Tunelska kategorija B: Ograničenje za opasne tvari koje mogu izazvati vrlo veliku eksploziju.
- Tunelska kategorija C: Ograničenje za opasne tvari koje mogu dovesti do vrlo velike eksplozije, velike eksplozije ili velikog djelovanja otrova.
- Tunelska kategorija D: Ograničenje za opasne tvari koje mogu izazvati vrlo veliku eksploziju, veliku eksploziju, veliko djelovanje otrova ili veliki požar.
- Tunelska kategorija E: Ograničenje za sve opasne tvari osim UN br. 2919, 3291, 3331, 3359 i 3373. [2]

U Hrvatskoj na sreću još nije zabilježena niti jedna veća prometna nesreća u tunelima, potencijalna opasnost za vozače svakodnevno vreba u tim prometnim "crnim rupama" koje u sigurnosnom smislu predstavljaju najveći izazov, kako za njihove graditelje tako i za krajnje korisnike - vozače.

Tijekom posljednja dvaju desetljeća požari u tunelima privukli su posebnu pozornost javnosti i znanstvenika zbog nekoliko katastrofalnih požara u Europi, u kojima je smrtno stradao relativno veliki broj ljudi.

Nakon ovih požara, koji su osim žrtava prouzrokovali velike direktne i indirektno materijalne štete, tuneli su ostajali zatvoreni mjesecima, pa čak i godinama (Mt Blanc). Pored velikih troškova popravka, rekonstrukcije i unapređenja sigurnosti prometa u tim tunelima, još su se veći troškovi pojavili zbog dugotrajnog skretanja prometa s uobičajenih optimalnih ruta i kao izostanak prihoda operatora. Podaci o snažnom

porastu teretnog prometa ukazuju dalje na povećani rizik od velikih požara u cestovnim tunelima, gdje dovoljna količina „goriva“ za nastanak katastrofalnog požara redovito potječe od teških kamiona i njihovih tereta. Činjenica je naime, da katastrofalnog požara u tunelu, koji uključuje veći broj smrtnih žrtava i veliku materijalnu štetu, praktički nema bez sudjelovanja HGV u požaru. Pritom treba spomenuti da se željeznički tuneli smatraju relativno sigurnima za promet, da posljednjih godina u njima nisu zabilježene ljudske žrtve i da je vjerojatnost izbijanja požara u cestovnim tunelima oko 20 puta veća nego u željeznickima. [3]



### 3. POŽARI U CESTOVNIM TUNELIMA UZ KRATKI OSVRT NA KATASTROFALNE POŽARE

#### 3.1. Najveće tunnelske nesreće

Od 1950. godine do danas u cestovnim je tunelima bilo 36 velikih nesreća, od čega najviše u europskim zemljama.(slika 2.) U tim je nesrećama lakše ili teže ozlijeđeno do 200 osoba, u većini slučajeva uslijed trovanja požarnim plinovima, dok je više od 100 osoba smrtno stradalo. O visini ukupne materijalne štete govori činjenica da je većina tunela nakon požara bila zatvorena za promet kroz duže vremensko razdoblje. Nezgode u tunelima s najtežim posljedicama dogodile su se 1999. godine u tunelima Mont Blanc u Francuskoj i u austrijskom Tauernu, a dvije godine kasnije u tunelu St.Gothard u Švicarskoj. (tablica 1.) Požar u tunelu Mont Blanc, u kojemu je smrtno stradalo 39 osoba, a tunel potpuno uništen u dužini većoj od 2000 metara, smatra se požarom u tunelu s najtežim posljedicama. U Tauernu je smrtno stradalo 12 osoba, a tunel je u većoj dužini bio teško oštećen. Skoro iste posljedice bile su u tunelu St. Gothard. Sva tri požara su promijenila shvaćanja o projektiranju, gradnji i održavanju tunela i poduzimanju ukupnih mjera sigurnosti. [5]



Sl.2. Požar i eksplozija u tunelu [2]

Tab.1. Uzroci i posljedice nesreća u tunnelima [2]

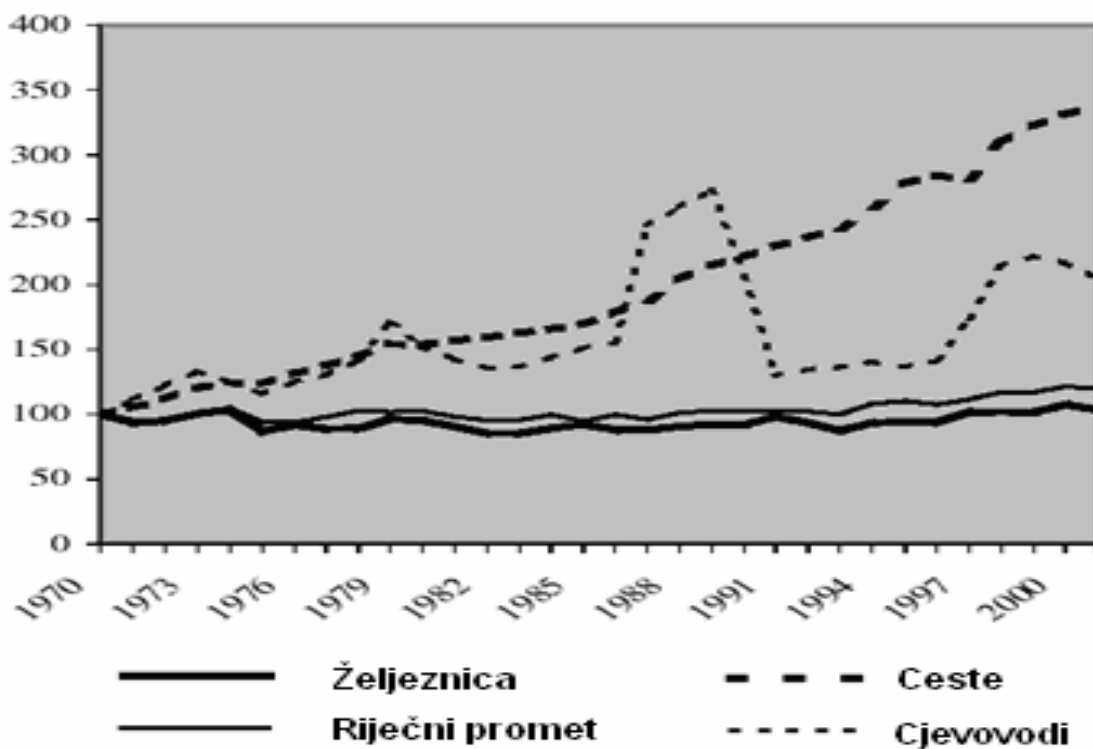
Datum	Tunel, duljina	Lokacija	Vozilo gdje je požar započeo	Vjerojatni uzrok požara	Posljedice za		
					Ljude	Vozila	Građevine i instalacije
1978.08.11.	Velsen, 770 m	Velsen, Nizozemska	2 HGV,4 automobila	Sudar, Prednji stražnji kraj	5 mrtvih, 5 ozlijeđenih	4 HGV,2 automobila	Ozbiljna oštećenja 30 m
1983.	Pecorila, 662 m	Autoput A10, Italija	Kamion s ribom	Sudar, Prednji stražnji kraj	9 mrtvih, 22 ozlijeđenih	10automobila	Laka oštećenja
1986.09.09.	L' Arme, 1100 m	Nica, Francuska	1 kamion s prikolicom	Sudar, Velika brzina	3 mrtvih, 5 ozlijeđenih	1 kamion, 4automobila	Umjerena šteta na opremi
1987.02.18.	Gumefens, 340 m	Bern, Švicarska	1 HGV	Motor	2 ozlijeđenih	1 HGV	Umjerena šteta na opremi
1993.	Serra Ripoli, 442 m	Autoput A1, Italija	Automobil i HGV s rolama papira	Sudar nakon gubitka kontrole nad vozilom	4 mrtvih, 4 ozlijeđene	5 HGV,11 automobila	Laka oštećenja
1993.	Frejus, 12868 m	T2,Francusk a/ Italija	1 HGV	Požar motora	1 mrtav, 28 ozlijeđenih	1 autobus	Ozbiljna oštećenja instalacija
1995.04.10.	Pfänder, 6719 m	Austrija	Kamion s prikolicom	Sudar	3 mrtvih, 4 ozlijeđenih	1 kamion,1 furgon, 1 automobil	Ozbiljna oštećenja
1996.03.18.	Isola delle Femmine	Palermo, Italija	1 autocisterna s ukapljenim plinom, 1 mali autobus	Autobus udario u stražnji kraj autocisterne	5 mrtvih,20 ozlijeđenih	1 autocisterna,1 autobus, 18 automobila	Ozbiljna oštećenja obloge i rasvjete, zatvoren 2,5 dana
1999.03.24.	Mt Blanc,11600 m	Francuska-Italija	Požar započeo na HGV s brašnom i margarinom	Istjecanje diesel goriva iz motora	39 mrtvih	23 HGV, 10 automobila,1 motocikl, 2 vatrogasna kamiona	Ozbiljna oštećenja(900 m), tunel otvoren 22.12.2001.
1999.05.29.	Tauern 6401 m	Autoput A10, Salzburg-Spittal, Austrija	Kamion s bojama/ Lakovima	Sudar 4 automobila i 2 HGV, prednji stražnji kraj	12 mrtvih,49 ozlijeđenih	14 HGV, 26 automobila	Ozbiljna oštećenja (500 m),zatvoren 3 mjeseca
2001.10.24.	St.Gotthard, 163227 m	Autoput A2, Švicarska	Sudar 2 HGV	Sudar	11 mrtvih	13 HGV,4 furgona,6 automobila	Ozbiljna oštećenja (230 m), dodatna oštećenja 700 m, zatvoren 2 mjeseca
2005.06.04.	Freéjus,12868 m	T2, Francuska/ Italija	1 HGV gume, 1 HGV sir, 1 HGV otpad, 1HGV ljepilo	Istjecanje goriva iz HGV s gumama	2 mrtvih,21 ozlijeđenih od dima	4 HGV,3 vatrogasna vozila	10 km opreme trebalo je popraviti

Najveći broj požara u cestovnim tunelima započinje sudarom ili samozapaljenjem vozila, tj. bez ikakvog akcidenta. Unatoč tome, svi poznati požari u kojima je bilo smrtnih posljedica, nastali su kao rezultat akcidenta, sa samo jednom, iako značajnom iznimkom požara u tunelu Mt Blanc. Gotovo je nemoguće zamisliti brz razvoj katastrofalnog požara veće snage, bez veće količine razlivenih tekućih ugljikovodika.

Osim stradanja ljudi pri čemu se smrtno žrtve ozljede i patnje vrlo teško mogu materijalno izraziti, katastrofalni požari uključuju i ogromne iznose isključivo materijalne štete. Tako Brekelmans navodi sljedeće štete (obuhvaćeni su troškovi popravka i izgubljeni prihod):

- Eurotunnel 1996. (željeznički), cca 600 miliona Eura,
- Tunel Mt Blanc 1999., cca 450 miliona Eura,
- Tunel Tauern 1999., cca 50 miliona Eura. [6]

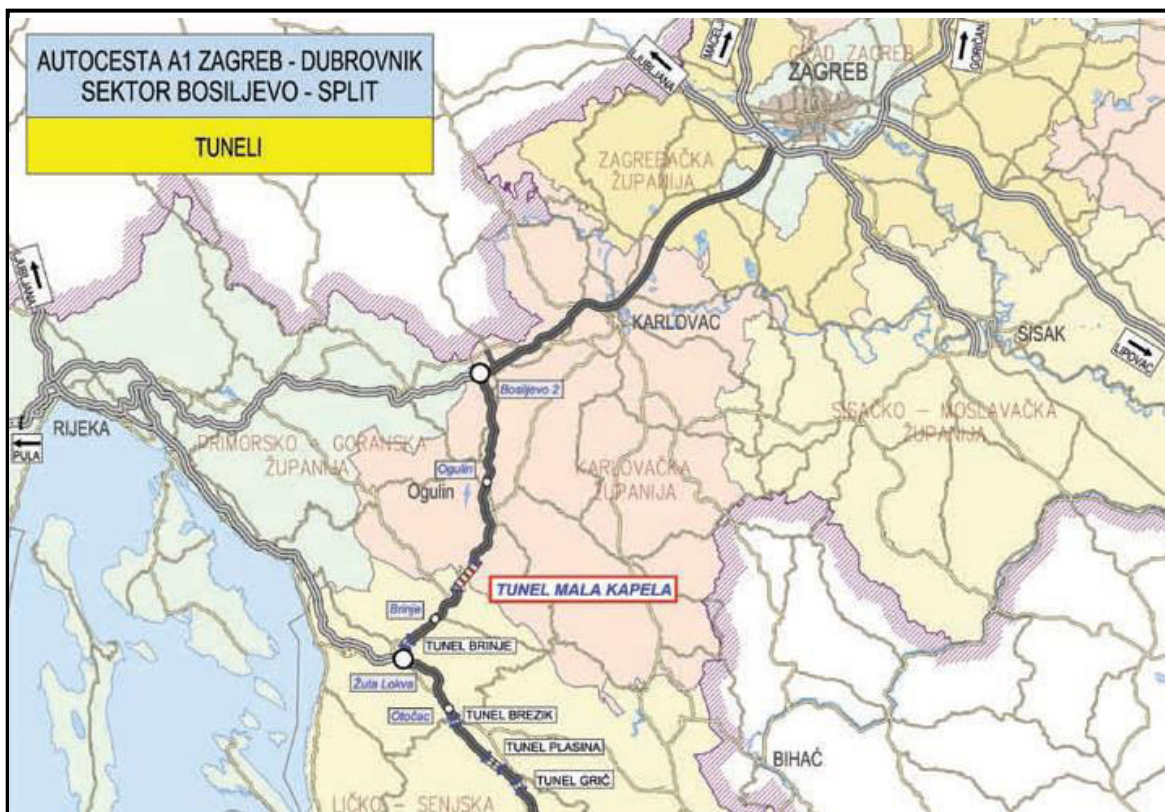
Na slici 3. prikazan je trend u teretnom prometu (tone-km) u Zapadnoj Europi.



Sl. 3. Trendovi u teretnom prometu (tone-kilometri), Zap. Europa, 1970=100 [3]

Akcidenti koji su se dogodili proteklih godina privukli su pažnju i zbog pratećih troškova. Direktni troškovi popravaka i preuređenja tunela nakon nedavnih požara procijenjeni su na 210 miliona Eura godišnje, no tome treba pribrojiti i ostale troškove. Trošak koji je požar tunela Mt Blanc izazvao u talijanskoj ekonomiji procijenjen je na 350-450 miliona Eura godišnje 12 i oko 500 miliona Eura godišnje.

Tunela Mala Kapela najduži je tunel u Republici Hrvatskoj, dojavni centar Tunela Mala Kapela smješten je u objektu na sjevernoj strani tunela, tj. na 102+600 km autoceste A-1. (slika 4.)



Sl. 4. Prikaz dionice autoceste A-1 na kojoj je smješten Tunel Mala Kapela [3]

Dojavni centar tj. Centar za održavanje i kontrolu prometa (COKP), je u funkciji sigurnog odvijanja prometa i pružanja svih relevantnih informacija, kako službi za održavanje autoceste, tako i svim korisnicima autoceste.

U COKP-a Tunela Mala Kapela se prikupljaju i obrađuju prometni podaci pomoću kojih se vrši rješavanje atipičnih prometnih situacija uzrokovanih vremenskim uvjetima,

radovima na cesti ili kada su osobine prometnog toka takve da brzina vožnje ne odgovara karakteristikama stanja u prometu, odnosno kada dođe do poremećaja prometnog toka na određenoj dionici. Vođenje i kontrolu prometa obavljaju referenti (operateri) za vođenje prometa u centrima za održavanje i kontrolu prometa. Referenti (operateri) za vođenje prometa su odgovorni za sigurnost, vođenje i kontrolu prometa, kao i za redovne preglede rada svih podsustava i sudjelovanje prilikom otklanjanja kvarova u sustavu. [7]

#### 4. VRSTE OPASNOSTI, MOGUĆI OPASNI DOGAĐAJI ZA VATROGASNU SLUŽBU I SPECIFIČNOSTI RAZVOJA POŽARA U TUNELIMA

Posao vatrogasca karakterizira izloženost svim vidovima fizičke, kemijske i biološke ugroženosti života i zdravlja. Vatrogasci obavljaju poslove struke najvećim dijelom u mirnodopskom razdoblju, ali jednako tako su aktivni i u intervencijama prouzročenim ratnim djelovanjima. Moderan način života zahtijeva i upotrebu novijih vrsta kemikalija, novih materijala s različitim svojstvima i ponašanjem u procesu gorenja, te upotrebu novih tehnologija, pa je veoma teško predvidjeti i planirati sve vrste intervencija. Kao posljedica izazvanog neposrednog i kratkotrajnog mehaničkog, fizičkog i kemijskim djelovanjem tijela nastaju ozljede. Težina ozljeda se određuje u odnosu na nekoliko faktora: opasnost po život, oštećenje organa, funkciju organa i radnu sposobnost. U skladu s tim dolazi do razvoja profesionalne bolesti koja je uzrokovana dugotrajnim i neposrednim utjecajem radnih uvjeta na zdravlje. Međutim, za primanje u ovu odgovornu i vrlo napornu službu kandidat mora ispunjavati više uvjeta, a između ostalog da je utvrđena njegova zdravstvena psihofizička sposobnost za poslove vatrogasca temeljem specijalističkog zdravstvenog pregleda na medicini rada. No, uvidom i praćenjem obrađenih liječničkih nalaza evidentno je da kao posljedica rada u vatrogasnoj službi dolazi do raznih oštećenja i narušavanja zdravstvenog stanja i radne sposobnosti vatrogasaca. Izloženost vatrogasaca opasnostima je u stalnom porastu jer raste broj vatrogasnih intervencija. Pri dizajniranju vatrogasnih sprava i vozila, kao i osobnih zaštitnih sredstava, nije primijećen značajniji pomak u iznalaženju kvalitetnijih rješenja koja bi smanjivala opasnosti i smanjile njen štetan učinak na zdravlje vatrogasaca. Posljedično rezultatima znanstvenih istraživanja nameće se potreba da se Zakonskom legislativom odredi i propiše obvezno korištenje, kako osobnih zaštitnih sredstava za pojedinog vatrogasca na intervencijama, tako i da se u samom dizajnu opreme i vozila ide ka rješenjima koja bi emisiju buke smanjila na dopuštenu razinu.

Pri ocjenjivanju stupnja težine psihofizičkih napora vatrogasca uzimaju se u obzir: hitnoća djelovanja, nepredvidivost radnih operacija, dugoročni smjenski rad i stalna pripravnost, te maksimalni psihofizički angažman tijekom intervencije. Intervencije se grubo mogu podijeliti u tri vrste: akcidenti, požari, tehničke intervencije. Grupa

akcidenata obuhvaća sljedeće: akcidente na vodi, akcidente u/na građevinskom objektu, akcidente u industriji, akcidente u prometu (otvoreni prostor i tuneli). Grupa požara obuhvaća sljedeće: požare otvorenog prostora, požare prijevoznog sredstva, požare građevinskih objekata, požare u industriji ili proizvodnim pogonima.

Požari u tunelima vrlo su zahtjevne i prije svega vrlo opasne intervencije kako za građane koji se zateknu u takvim uvjetima, tako i za same vatrogasce. Iskustvima iz prakse i analizama intervencija u kojima su smrtno stradali vatrogasci pokazalo se da je bolje i dublje razumijevanje razvoja požara, a osobito onog stanja kada požar iz normalnog tijeka prelazi u jedan od naglih oblika razvoja i te kako potreban. Spajanjem iskustava sa intervencija i istraživačkog rada došlo se do novih spoznaja o razvoju požara u tunelima i njegovim naglim oblicima razvoja. Razvijene su nove metode, postupci, uređaji i oprema, a sve s ciljem uvježbavanja i osposobljavanja vatrogasaca da mogu na vrijeme prepoznati, spriječiti i riješiti opasne situacije u takvim uvjetima. Različita izvedba simulatora plamenih udara omogućava stvaranje realnih uvjeta požara, simulaciju naglih oblika razvoja požara, promatranje razvoja požara u sigurnim uvjetima, te uvježbavanje različitih tehnika gašenja i sprječavanje širenja požara.

Obuka u simulatorima plamenih udara (slika 5.) je trenutno po pitanju požara u zatvorenim prostorima (tunelima) najrealnija je obuka. Uvjeti u simulatorima vrlo su bliski uvjetima u požaru u zatvorenom prostoru, te takvim uvježbavanjem u takvim uvjetima iskustvom i znanjem vatrogasac se može nadograditi novim spoznajama i vještinama kako bi spriječio stradavanje sebe i osoba koje spašava.

Prilikom gašenja požara vatrogasci se moraju pridržavati sljedećih pravila:

- prilikom prilaska požaru ulaze pognuto i koriste vrata za zaštitu, pritom obraćaju posebnu pozornost na opasnost od probojnog (udarnog) plamena zbog naglog dovoda zraka (kisika) u prostoriju,
- u zatvorenim prostorima u klečećem ili puzajućem položaju približavaju se požaru, tako da se vatrogasnim aparatom ili vjedrom vode može precizno gasiti, te smanjiti izloženost dimnim plinovima,
- počinju gasiti u žarištu požara, tj. na mjestu najveće opasnosti proširenja požara,
- ako je ikako moguće, gase u smjeru vjetra (na otvorenom) ili iz zaklona,
- paze, da im je odstup siguran.



Sl.5.Obuka u simulatoru plamenih udara[3]

Opasnosti, štetnosti i napore u vatrogasaca možemo grubo podijeliti u slijedeće skupine:

- mehaničke opasnosti: rukovanje motornom pilom, hidraulika, padovi sa visine, padovi u ravnini i padovi u dubinu, opasnosti od minsko- eksplozivnih sredstava, opasnosti od odrona,
- opasnosti od udara električne energije,
- termičke opasnosti: užareni dijelovi, pothlađeni dijelovi (tehnički plinovi),
- kemijske štetnosti: prašine, plinovi, pare, maglice, tekućine i sl.,
- biološke opasnosti: bakterije, gljivice, virusi (sve ljudske i životinjske izlučevine),
- opasnosti od domaćih i ostalih životinja sa gospodarstva kao i divljih životinja (npr. ugrizi, nagnječenja i sl.),
- mikroklimatski uvjeti: rad u svim vremenskim situacijama (vrućina, hladnoća, vlaga ),
- nedovoljna osvjetljenost pri intervenciji,
- tjelesni napori: dizanje, prenošenje tereta, rad u nepovoljnom fiziološkom položaju, klečanje, ležanje, rad iznad glave,



- psihofiziološki napori (stres, neizvjesnost, rad u vremenskom tjesnacu, ljudske žrtve i sl.).

Na slici 6. prikazana je procjena veličine rizika za opasnosti kojima su izloženi vatrogasci pri vatrogasnim intervencijama.



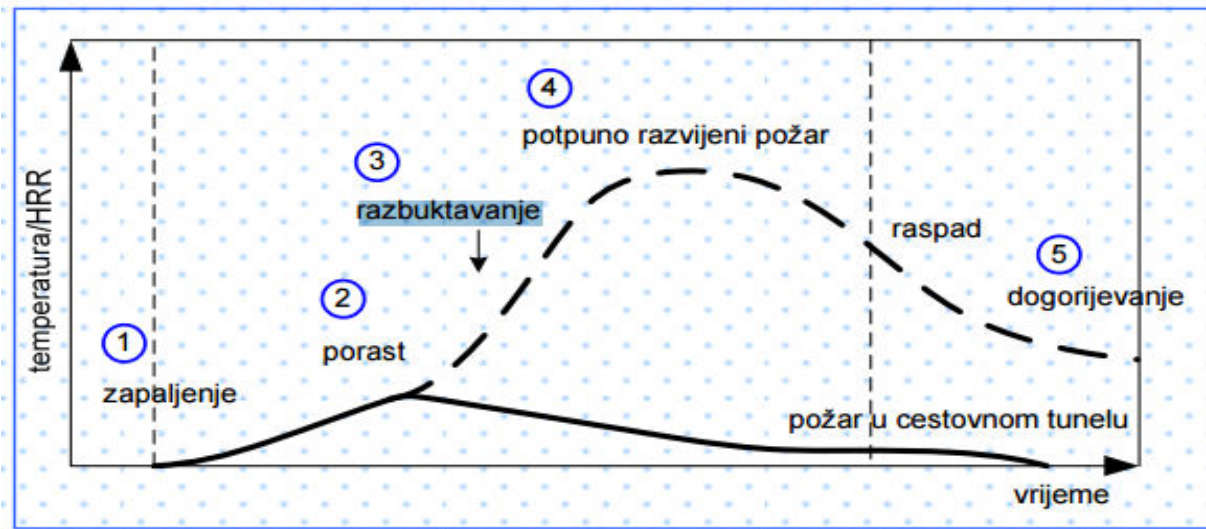
SI.6. Procjena rizika za opasnosti kojima su izloženi vatrogasci [3]

#### 4.1. Specifičnosti razvoja požara u tunelima

Svaki cestovni tunel je jedinstven ovisno o zemlji u kojoj se nalazi te njenim regulativnim zahtjevima i očekivanoj eksploataciji samog tunela, rezultati analize rizika od požara mogu biti različiti. Nužno je usporediti dovoljno statističkih podataka o incidentima požara, podatke o prometu i vozilima, te identificirati najgore slučajeve scenarija požara. Kao temeljne aerodinamične pojave, koje karakteriziraju rad sustava provjetravanja u uvjetima požara, prepoznate su: stratifikacija dima, kritična brzina, povratno strujanje dima (tzv. „backlayering“) i građevinske konfiguracije odnosno unutarnje strukture tunela. Požarna veličina varira ovisno o faktorima kao što su geometrija tunela, sustav i stanje provjetravanja, mjesto paljenja požara, goriva smjesa te način gašenja požara. Najvažnije je kod svih požara koji su nastali u tunelu: vrijeme reakcije vatrogasno spasilačke službe (dolazak do mjesta požara), gašenje požara i

transport ugroženih osoba na sigurno područje kako ne bi došlo do teških i tragičnih posljedica.

Razvoj požara ima obično pet faza - paljenje, porast, razbuktavanje (plameni udar), potpuno razvijeni požar i dogorijevanje. (slika 7.)

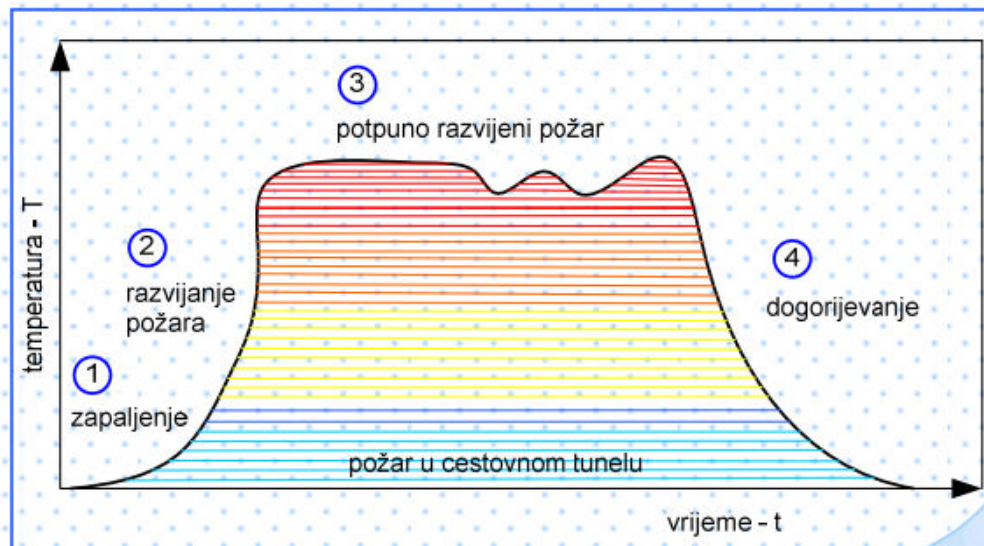


Sl.7. Razvoj požara u zatvorenom prostoru [4]

Obzirom na polu-zatvorenu funkciju tunela obilje kisika može biti isporučeno za proces izgaranja, a time i kriteriji za razbuktavanje teško se mogu utvrditi. Kao rezultat toga, tipični tunelski požar obično se razvija kroz 4 faze – zapaljenje, rast požara, postupno razvijeni požar i dogorijevanje. (slika 8.)

Kao temeljne aerodinamične pojave, koje karakteriziraju rad sustava provjetravanja u uvjetima požara, mogu se navesti:

- stratifikacija dima,
- „kritična brzina“,
- povratno strujanje dima, tzv. „backlayering“ i
- građevinske konfiguracije i unutarnje strukture tunela.

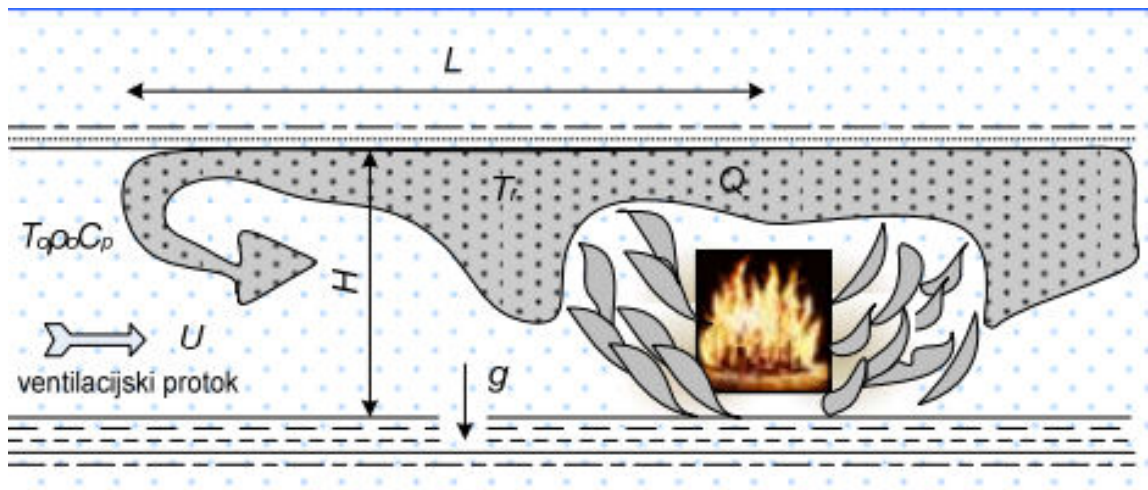


Sl. 8. Razvoj požara u cestovnom tunelu [4]

Stratifikacija dima predstavlja pojavu uzgonskog kretanja dima prema stropu tunela, uvjetovanog razlikom gustoće i topline dima i okolnog hladnijeg zraka, te u idealnim uvjetima, kada je protok (uzdužna brzina) zraka, uzrokuje se ravnomjerno slojevito širenje dima uz strop simetrično na obje strane od mjesta požara.

Kritična brzina - kod tunelskih požara, dim se s mjesta požara diže do tunelskog stropa, i dalje se širi duž tunelske cijevi sve dok ne izađe iz nje, odnosno iz njenog zatvorenog prostora, u ovakvim situacijama, sustav provjetravanja se u pravilu koristi za kontrolu širenja generiranog dima.

Backlayering (također poznat kao "back-flow") je naziv za pojavu kada se dim kreće u suprotnom smjeru od strujanja zraka u tunelu. (slika 9.)



Sl.9. Kretanje dima suprotno smjeru strujanja zraka u tunelu [4]

Za ponašanje backlayering učinaka dva su najvažnija faktora koji reguliraju ponašanje i to oslobođena toplinska snaga požara i brzine provjetravanja.

U tablici 2. prikazane su značajke povratnog strujanja dima.

Tab. 2. Prikaz značajki povratnog strujanja dima (backlayering učinak) [4]

	$Ve$	režim	napomena	strujanje (vrijednosti)
(a)	mali	<i>backlayering</i>	napreduje <i>backlayering</i>	$V = 2 \text{ m/s}; HRR = 20 \text{ MW}; Ve = 2.97 \times 10^{-2}$
(b)			oscilirajući-stabilan <i>backlayering</i>	$V = 7 \text{ m/s}; HRR = 100 \text{ MW}; Ve = 6.08 \times 10^{-2}$
(c)		<i>prijelaz</i>	blagi <i>backlayering</i>	$V = 6 \text{ m/s}; HRR = 10 \text{ MW}; Ve = 11.23 \times 10^{-2}$
(d)			okomiti (uspravni) plamen	$V = 10 \text{ m/s}; HRR = 20 \text{ MW}; Ve = 14.86 \times 10^{-2}$
(e)	veliki	<i>nije backlayering</i>	plamen	$V = 10 \text{ m/s}; HRR = 1 \text{ MW}; Ve = 40.33 \times 10^{-2}$

## 5. PREVENTIVNE MJERE SIGURNOSTI I ZAŠTITE OD POŽARA U CESTOVNIM TUNELIMA NA MOGUĆE OPASNE DOGAĐAJE

### 5.1. Ustroj dojavnog centra tunela mala kapela

Automatski sustav nadzora i upravljanja prometom je uspostavljen na autocesti koji se sastoji od mjernih, upravljačkih i signalnih uređaja.

Na čvorovima, ispred tunela tamo gdje su vijadukti i mostovi na mjestima gdje su moguće česte pojave magle ili vjetar postavljena je promjenjiva signalizacija i mjerni uređaji. Postavljene su mjerne stanice koje mjere meteorološke uvjete na cesti kao i stanje kolnika koje omogućuju operaterima u COKP–ama da pravovremeno postave odgovarajuću signalizaciju i tako maksimalno utječu na sigurnost u prometu na cesti.

U obliku upozorenja ili ograničenja mogu biti informacije o brzini vozačima kroz sustav svjetlosne promjenjive signalizacije od izuzetnog značaja. Postavljene su i video kamere koje omogućavaju prikaz situacije na monitorima smještenim u COKP–ama. Ove video kamere daju operaterima u COKP–ama razne informacije kao:

- automatska detekcija zastoja u prometu,
- vožnja u suprotnom smjeru,
- brzina kretanja vozila,
- vrsta vozila,
- broj vozila,
- zaustavljanje u tunelu.

Ako netko od sudionika u prometu na bilo kojem dijelu autoceste ostane u kvaru ili mu se dogodi nešto nepredviđeno na njegovom putu, može koristiti telefonske pozivne stupiće (TPS) pomoću kojih odmah stupa u vezu sa operaterima u COPK–ama.

Najsuvremenija oprema je u tunelima ugrađena za nadzor i zaštitu od predvidljivih i neželjenih situacija, a upravljanje je 24-satno i sve se bilježi na elektronske medije te pohranjuje.

U tunelima se nalaze i SOS niše na svakih 300 metara gdje se pritiskom na tipku ostvaruje direktna veza sa operaterima u COPK–ama.

Sustav daljinskog upravljanja i nadzora tunela je u funkciji upravljanja i kontrole svih podsustava potrebnih za sigurno vođenje prometa u tunelima.

Upravljanje i nadzor ulaze u sustav rasvjete, ventilacije, opskrbe vodom, senzoričke (CO, vidljivost i brzina i smjer strujanja zraka), elektroenergetsko napajanje, sustav besprekidnog napajanja, sustav za dojavu požara, telefonsko–pozivni sustav (SOS), radio sustav, sustav ozvučenja i sustav video nadzora. (slika 10.)

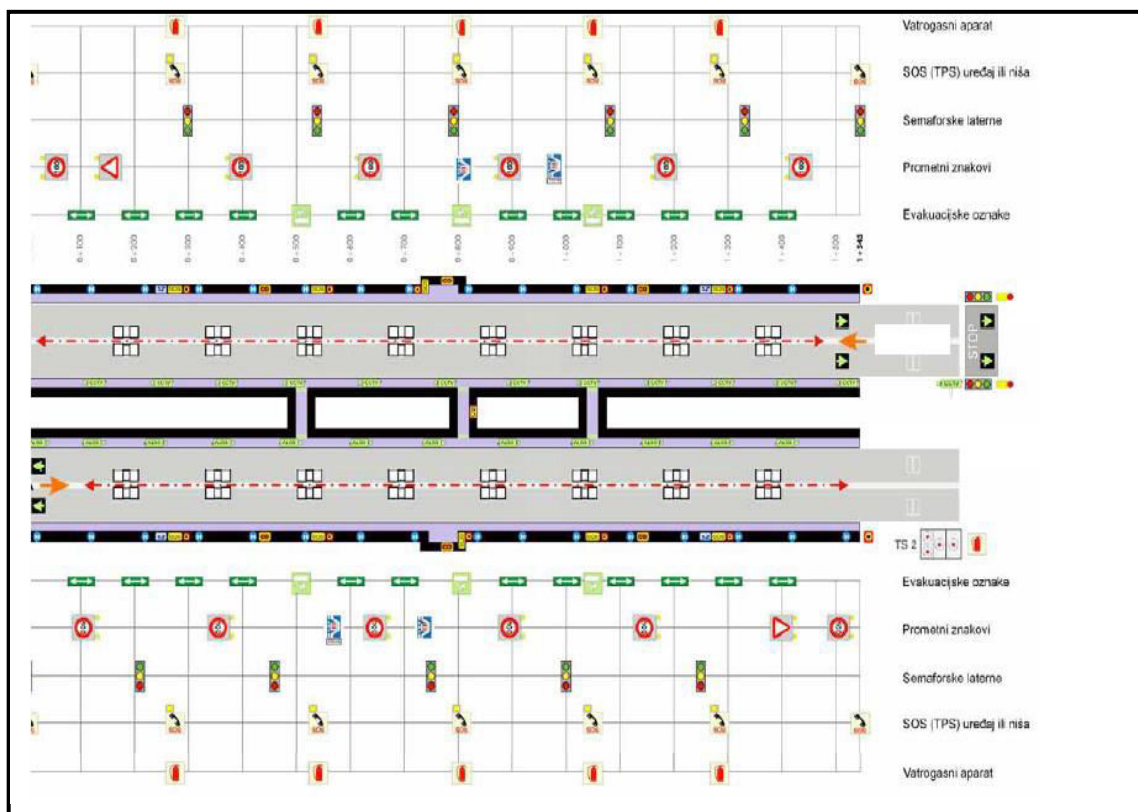


Sl. 10. Dojavni centar Tunel Mala Kapela [4]

Praćenjem pogona operateri vrše upravljanje i praćenje prometa, vrše preglede sustava i sudjeluju u otklanjanju kvarova.

Operateri su odgovorni za pogonsko stanje ispravnosti i za pravilno upravljanje sustavom u svrhu sigurnosti odvijanja prometa.

Za svaki COKP vodi se dnevnik dežurstva operatera (slika 11). [8]



Sl. 11. Shema prometne signalizacije u Tunelu Mala Kapela [5]

## 5.2. Upravljanje i nadzor rasvjete

Opća rasvjeta je izvedena u tunelu (slika 12.) kojom se osvjetljava cijeli tunel u normalnom radu te pomoćna (nužna) rasvjeta u slučaju nestanka mrežnog napajanja i panik rasvjeta kojom se osvjetljava siguran izlaz na slobodan prostor. Cjelokupna električna instalacija rasvjete obje tunelske cijevi izvedena je u stupnju mehaničke zaštite IP 65 i IP 54 za EXITLIGHT, čime je omogućeno gašenje požara vodom. Rasvjeta tunelske cijevi radi u pet režima rada i to RE1=noću sa 50% nivoa rasvjete unutrašnje zone, RE2=danju sa 100% nivoa rasvjete unutrašnje zone, RE3=danju sa 25% nivoa rasvjete zone prilagođena, RE4=dan sa 50% nivoa rasvjete zone prilagođena i RE5=danju sa 100% nivoa rasvjete zone prilagođena. Uključivanje i isključivanje rasvjete moguće je daljinski iz COKP, preko sustava daljinskog upravljanja i lokalno iz razdjelnika rasvjete smještenih u tunelske niše na osnovi mjerenja danje svjetlosti izvan

tunela. Upravljanje režimom rasvjete u tunelskoj cijevi izvedeno je u dva nivoa: lokalno i daljinsko.



Sl. 12. Rasvjeta u Tunelu Mala Kapela [6]

Može se ostvariti ručno i automatsko lokalno upravljanje pomoću procesora koji osigurava sigurno, točno i koordinirano djelovanje svih elemenata instalacije u redovnom i izvanrednom radu, a smješteno je u ormarima rasvjete ulaznih i izlaznih zona tunela.

Kod lokalnog upravljanja koje se ostvaruje ručno, operater pogona COKP-e je zadužen za uključivanje rasvjete koje se vrši iz rasvjetnog ormara. Daljinsko upravljanje sustavom rasvjete obavlja se iz COKP-a posredstvom sustava daljinskog vođenja (SDV) kojim se prenose signali stanja sustava rasvjete i komandne signale koje imaju prioritet pri izvršavanju od lokalnih procesora.

U slučaju nestanka mrežnog napona sigurnosnu rasvijetljenost tunela osiguravaju rasvjetna tijela priključena na rezervni izvor napajanja:



- nužna rasvjeta svaka treća svjetiljka režima RE1 (uključena na statički izmjenjivač),
- svjetiljke panik rasvjete i pješačkih prolaza,
- SOS znakovi i niše.

Svi kabeli za rasvjetu koja je priključena na rezervni izvor napajanja, kabeli rasvjete oznake za signalizaciju evakuacijskih putova i kabeli za napajanje rasvjetnih tijela pomoćne rasvjete (rasvjete u nuždi), a koji su položeni izvan kabelskog kanala u tunelu, izdrže temperaturu od 250 °C u trajanju od 90 minuta, te imaju vatrootpornu zaštitnu izolaciju sa potvrdom sukladno prema IEC 60331-21(90), 60332-3 i IEC 60754 (DIN 57742). Ostali kabeli kojima se napaja rasvjeta električnom energijom su iz samogasivog PVC-a, otpornog na požar prema normi HRN N.C0.075., a polaganje se izvodi u betonskom kabelskom kanalu. Na ulazu i izlazu iz razdjelnika (kabelskog kanala) prekrije se vatrootpornim barijerama napravljenim iz pijeska, te na svakih 100 m kabelskog kanala. Telekomunikacijski i energetske kabeli polažu se odvojeno u zasebne kabelske kanale. Kabeli koji su položeni na kabelske police u tunelu, a ne služe za napajanje sigurnosne rasvjete izrađeni su iz samogasive plastike prema normi IEC 60332 i IEC 60754.

Razvodni ormari iz kojih se napaja rasvjeta i ventilacija izvedeni su u stupnju mehaničke zaštite IP-54 ili više, a izrađeni su iz metala ili samogasive plastike. Razdjelnici su ispitani sukladno normi HRN N.K5.503.

Prilikom nestanka mrežnog napajanja pomoćnu rasvjetu u tunelu osiguravaju svjetiljke koje su sastavni dio opće rasvjete tunela, ali se uključuje svaka treća iz režima RE1. Pored pomoćne rasvjete kod nestanka mrežnog napajanja uključuju se svjetiljke za oznaku smjera izlaska iz tunela, svjetiljke za rasvjetu tunelskih niša te SOS znakova i prometnih znakova s unutarnjom rasvjetom, a koje su priključene na rezervni izvor napajanja koji osigurava autonomiju napajanja navedenih trošila od dva sata. [9]

Svjetiljke sigurnosne rasvjete za označavanje evakuacijskih putova i svjetiljke pomoćne rasvjete (svaka treća u unutrašnjoj zoni režima RE1) zadržavaju funkcionalnost u trajanju od 90 minuta na temperaturi od 250°C i zadovoljavaju stupanj mehaničke zaštite IP-64.

Osnovni režim rasvjete tunela u kome se za vrijeme dana uključuju sva rasvjetna tijela (50% ili 100% rasvjeta) izvedena je u cijeloj dužini tunela, dok je na njegovim ulaznim zonama izvedena dodatna rasvjeta radi prilagodbe korisnika kod prijelaza iz vanjske osvjetljenosti na osvjetljenost tunela (nivo rasvjete od 25% ili 50% ili 100%). Osnovna i prilagodna rasvjeta izvedena je visokotlačnim natrijevim žaruljama od 100, 150, 250, 400 i 600W i to rasvjetnim tijelima SVT 05.

Napajanje potrošača osnovnog režima rasvjete tunela je iz pripadajućih TS 10(20)/0,4 kV. Iz istih transformatorskih stanica napaja se i rasvjetna tijela za prilagodbu prilikom ulaska u tunel, kabelom odgovarajućeg presjeka do razvodnog ormara pojedinih sekcija tunela. Polaganje navedenog kabela izvedeno je u energetskom kanalu. Zaštita kabela od požara izvedena je isto kao i zaštita ostalih niskonaponskih kabela, zatvaranjem kabela betonskim pločama i sekcioniranje kablenskog kanala protupožarnim branama. Razvod kabela od razvodnih ormara do rasvjetnih armatura napravljena je uvlačenjem kabela u zaštitnu pocinčanu cijev do visine 2,3 m a iznad te visine polaže se po pocinčanim policama pričvršćenim po oblozi tunela, izvan gabarita prometnice.

U slučaju požara automatski se uključuje rasvjeta za označavanje evakuacijskog puta iznad vrata (svjetiljka EXITLIGHT2) i uz vrata (EXITLIGHT3), prolazi za spašavanje u drugu tunelsku cijev. Svjetiljka EXITLIGHT2 ima piktogram puta za evakuaciju, svjetiljka EXITLIGHT3 koja je vertikalno smještena uz dovratnik vrata. Sve navedene svjetiljke imaju vlastiti rezervni izvor napajanja koji omogućava nesmetani rad svjetiljki puna tri sata.

U slučaju kvara bilo kojeg elementa sustava rasvjete u tunelu, kvar se alarmira na upravljačkom pultu u COKP–i, nakon čega operater pogona vrši lociranje kvara. Nakon toga operater pogona, obavještava službu elektro održavanja ili dežurnog električara ukoliko je kvar nastao van radnog vremena. Dolaskom električara odnosno servisera isti je dužan javiti se operateru prometa u COKP–u putem radio–veze, nakon čega mu operater prometa prilagođava prometnu signalizaciju za radove u tunelu na način da smanjuje brzinu na dionici na kojoj se vrše radovi sa standardne brzine od 100 km/h na 40 km/h. Uz to na monitoru za obavješćivanje putnika u tunelu operater prometa ispisuje obavijest radovi u tunelu na hrvatskom, njemačkom i engleskom jeziku, a ujedno i na

semaforima isključuje zelena i pali žuta treptajuća svjetla. Tek nakon poduzimanja ovih radnji operater prometa obavještava putem radio–veze električara da može krenuti u tunel i započeti sa radovima. Nakon otklanjanja kvara električar provjerava stanje elementa sustava ili sustava rasvjete sa operaterom pogona koji mu daje informaciju o ispravnosti. Po završetku radova električar je dužan javiti se radio–vezom operateru prometa i obavijestiti ga da napušta tunel nakon čega operater vrši vraćanje signalizacije i obavijesti na redovni režim rada.

### 5.3. Ventilacija

U tunelu Mala Kapela je ugrađen sustav uzdužne reverzibilne ventilacije sa impulsnim aksijalnim ventilatorima smještenih na svodu tunela koji pored ventilatora obuhvaća upravljački sklop za pokretanje ventilatora, senzorskih sklopova za mjerenje koncentracije CO-a, senzora za mjerenje vidljivosti, uređaja za mjerenje smjera i brzine strujanja zraka u tunelu te kontrolno upravljačkih PLC uređaja preko kojih se prosljeđuju informacije od vlastitih mjernih i detektorskih uređaja za pokretanje potrebnog režima rada ventilatora. U zapadnoj cijevi tunela je ugrađeno ukupno 30 ventilatorskih baterija s po dva ventilatora u svakoj ventilatorskoj bateriji što je ukupno 60 ventilatora, te u istočnoj cijevi je ugrađeno ukupno 27 ventilatorskih baterija s po dva ventilatora (slika 13.) u svakoj ventilatorskoj bateriji što je ukupno 54 ventilatora. Međusobna udaljenost između ventilatora iznosi oko 170 m. Ugrađeni ventilatori su reverzibilni, te se pomoću njih može mijenjati strujanje zraka u tunelu ka južnom portalu odnosno ka sjevernom portalu što će ovisiti o trenutnim meteorološkim prilikama ili u slučaju požara o mjestu nastanka požara. Predviđeni impulsni ventilatori projektirani su za rad pri povišenoj temperaturi od 250 °C u vremenu od 90 minuta, što je proizvođač dokazao odgovarajućim certifikatom priznatim od strane nadležne ustanove.



Sl. 13. Ventilatorska baterija u Tunelu mala Kapela [7]

Režim rada ventilatora pri normalnim uvjetima prometa je polu-automatski u smjeru kretanja vozila sa max. brzinom strujanja zraka 3 m/s. U slučaju požara predviđen je požarni režim rada ventilatora sa max. brzinom strujanja zraka do 1,5 m/s koji se uključuje pomoću automatskog programa za umirivanje strujanja zračne mase u tunelu. Algoritam upravljanja ventilacijom u slučaju požara koji će biti ovisan o brzini i smjeru strujanja zraka u tunelskoj cijevi prije nastanka požara, je unaprijed definiran i softverski obrađen za automatsko vođenje.

Sva stanja ventilatora (uključenje, ispad jedne faze, bimetalne zaštite, položaja preklopke za ručno lokalno upravljanje, automatsko i ručno upravljanje iz COKP–e) koja su bitna za njegov siguran rad prosljeđuju se u centar upravljanja prometom COKP–a Mala Kapela sustavom daljinskog upravljanja i nadzora (SDUN). Mjerenje brzine strujanja zraka te smjera strujanja izvedeno je sa mjernim uređajima od koji je svaki ugrađen u jednu požarnu zonu (od okretnice do okretnice). [10]

#### 5.4. Opskrba vodom, priključci na hidrantsku mrežu i sustav za odvodnju

U tunelu Mala Kapela s jedne desne strane kolnika u dijelu povišene bankine postavlja se tlačni vod za hidrantski razvod koji je zaštićen od smrzavanja samoregulirajućim grijaćim kabelom snage 17 W/m u dužini od 700 m sa svake strane te grijanje hidrantskih ormara sa 17m samoregulirajućim grijaćim kabelom ukupne snage 225 W po hidrantu. Zaštita od smrzavanja se automatski uključuje pomoću digitalnog regulatora koji regulira temperaturu cjevovoda te daje informaciju o temperaturi cjevovoda centru upravljanja. Tlak na mjestima uzimanja vode iznosi najmanje 6 bara, a najviše 12 bara. Informacije o tlaku u hidrantskoj mreži prenose se u COKP-u.

Hidrantska mreža se napaja vodom iz dva spremnika vode, vodospreme Modruša kapaciteta 200 m<sup>3</sup> koja se nalazi na južnom portalu te vodospreme Razvala kapaciteta 100 m<sup>3</sup> vode koja je smještena na sjevernom portalu. Smanjenje nivoa vode u navedenim vodospremama ispod potrebne količine signalizira se u kontrolnoj prostoriji COKP-a kao i nivo vode iznad maksimuma te drugi važni signali koji utječu na rad crpne stanice Jezerane i navedenih vodosprema. Kapaciteti spremnika vodospreme Razvala i Modruša omogućava gašenje požara sa protokom vode od 1200 l/minuti više od 3 sata. Dopunjavanje vodom u vodospreme obavlja se dobavnim pumpa, čiji rad kontroliraju i nadziru operateri pogona u COKP-i . U slučaju pada razine vode u vodospremama ispod nivoa potrebne količine operater pogona COKP-e radio vezom obavještava voditelja smjene vatrogasne postrojbe tunela Mala Kapela koji vrši radnje detektiranja mjesta istjecanja vode ili zatvaranja glavnog ventila na vodospremi zbog sprječavanja gubitka vode u vodospremama. Ukoliko je kvar takav da ga je nemoguće otkloniti u kratkom vremenu operateri COKP-e Mala Kapela vrše obavještavanje TJO Ogulin i Brinje o nastaloj situaciji i traže od njih dopremanje i stacioniranje njihovih cisterni sa vodom u objekte Vatrogasne postrojbe Tunela Mala Kapela.

Zidni hidranti opremljeni su opremom koja omogućava da se sa dva susjedna hidranta može obaviti uspješno gašenje požara autocisterne koja je natovarena dizel gorivom u količini od 30.000 litara te požar teretnog vozila (šlepera) natovarenog gorivim tvarima klase požara A. Hidrantski ormari sa opremom za gašenje požara vodom

(raspršeni mlaz) i pjenom postavljeni su na svakih 90 m, te je postavljeno ukupno 59 hidrantskih ormara u zapadnoj cijevi i 63 hidrantska ormara u istočnoj cijevi tunela Mala Kapela.

Oprema koja se nalazi u zidnom hidrantu mora omogućiti gašenje požara klase B uz protok pjene od 647 l/minuti iz dva hidranta u trajanju od 9,7 minuta za što mora biti osiguran količina pjenila od 300 litara. Količina pjene se osigurava sa rezervoarom pjenila od 90 litara u svakom hidrantskom ormaru i 400 litara pjenila u vatrogasnom vozilu koje je izašlo na intervenciju. Dakle ukupna količina pjenila na mjestu požara će iznositi 580 litara što je za 280 litara više nego je potrebno (sigurnosna rezerva). Požar u tunelu treba se gasiti sa dvije strane. U koliko nije moguće isti gasiti sa dvije strane zbog zakrčenosti ili nekih drugih razloga ovakav požar gasit će se jednim mlazom pjene iz zidnog hidranta i drugim mlazom iz vatrogasnog vozila te će se u nešto duljem vremenu postići zadovoljavajući učinak, ali još uvijek unutar vremena od 90 minuta koliko je vatrootpornost požarnog sektora.

Gašenje požara klase A obavljamo iz dva susjedna hidranta raspršenim mlazom kojem je iskoristivost između 20–30% kapaciteta 200 l/min tako da će vrijeme gašenja trajati od 14–27 minuta. Ako je pristup vatrogasaca s drugog portala onemogućen, pristigla vatrogasna ekipa od tri vatrogasca gasi požar sa dva mlaza raspršenom vodom i to jednim iz hidranta, a drugim iz vatrogasnog vozila. Količina vode koja je potrebna za gašenje požara osigura se iz rezervoara vatrogasnog vozila te iz hidrantske mreže.

#### Oprema zidnog hidranta:

- rezervoar za pjenilo s oduškom kapaciteta 90 litara,
- 90 litara pjenila za srednje tešku pjenu ekspanzije od 21 – 200 s 3% doziranjem,
- monsun mlaznica za raspršenu vodu kapaciteta 200 l/min  $\Phi$  52 (2 kom),
- mlaznica za tešku pjenu kapaciteta 400 l/min  $\Phi$  52 (1 kom),
- vatrogasna cijev sa spojkama dužine 15 m tip B (6 kom),
- vatrogasna cijev sa spojkama dužine 15 m tip C (6 kom),
- mješač pjene,
- priključak za napajanje vatrogasnog vozila vodom iz hidranta,
- priključak za vatrogasnu cijev  $\Phi$  52 za monsun mlaznicu za raspršenu vodu,

- priključak za vatrogasnu cijev  $\Phi$  52 za mlaznicu za pjenu.

Hidrantski ormari zatvaraju se tako da su dostupni samo službenom osoblju i vatrogascima. Hidrantski ormari se griju radi izbjegavanja mogućeg smrzavanja i obojeni su crvenom bojom te označeni velikim slovom “H”.

Svaki kvar na pojedinom hidrantu ili na hidrantskoj mreži detektira se u dojavnom centru COKP–a Mala Kapela nakon čega operater pogona obavještava voditelja smjene vatrogasne postrojbe o mjestu nastanka kvara koji nakon primljene informacije o kvaru izlazi na izviđanje sa zapovjednim vozilom. Istovremeno operater prometa vrši postavljanje signalizacije na režim rada radovi u tunelu na dionici tunela na kojoj je kvar nastao. Po dolasku vatrogasaca na mjesto na kojem je detektiran kvar na hidrantskoj mreži, vatrogasci vrše putem radio veze obavješćivanje COKP–e o zatečenom stanju.

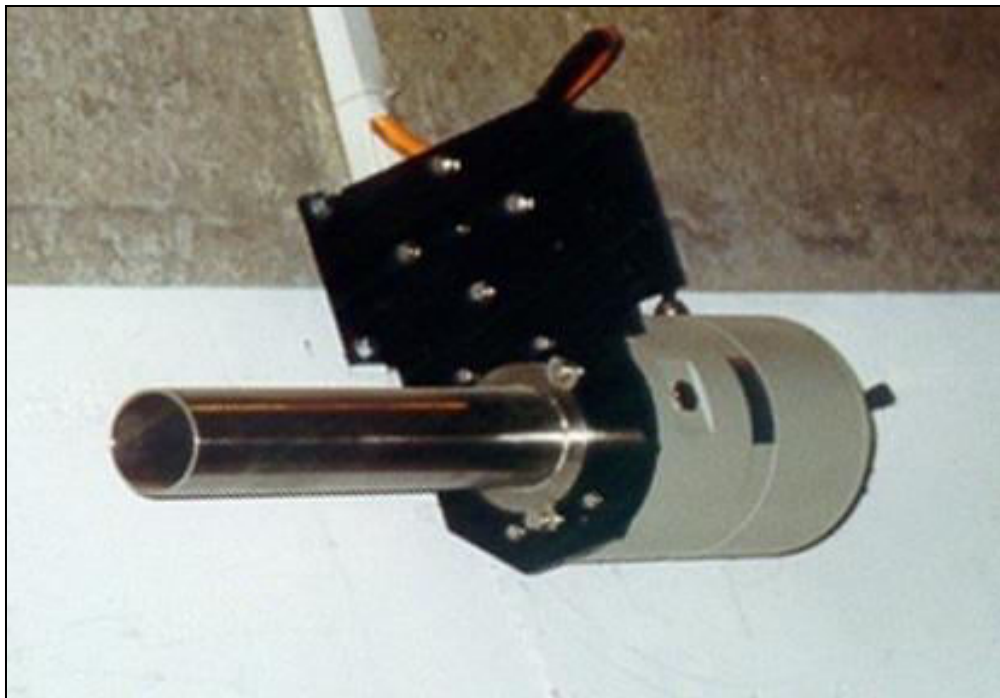
Prikladni sustav odvodnje bitan je za smanjenje vjerojatnosti širenja požara u tunelu jer sigurno i brzo uklanja lako zapaljive i zapaljene tekućine s ceste nakon prometne nezgode ili za trajanja požara i sigurno odvodi zapaljive tekućine sifonskim sustavom odvodnje koji osigurava da se požar neće proširiti odvodnim sustavom na drugi dio tunelske cijevi te sklanja zapaljivu tekućinu i ostale opasne tekućine u prikladni separator gdje se odvaja opasna tekućina od vode.

Sustav odvodnje koji je napravljen u ovom tunelu ima slijedeće karakteristike:

- odvod tekućina sa kolnika je omogućen sa obje strane kolnika tunela otvorima u bankini,
- broj i širina otvora osigurava kapacitet prihvata tekućine od 200 l/sekundi na dužini tunela od 200m kod ukupne količine tekućine od 50.000 litara,
- separator je izgrađen za prihvata zapaljivih tekućina u količini od 50 m<sup>3</sup> te odvajanje vode od zapaljivih tekućina koje moraju ostati u separatoru,
- izveden je sifonski sustav odvodnje tako da se požar ne može proširiti kroz cijevi odvodnje.

## 5.5. Detekcija CO i smanjenja vidljivosti

U tunelu je predviđeno automatsko uključivanje rada ventilatora radi smanjenja vidljivosti u tunelu odnosno povećanja zagađenosti sa CO plinskim polutantom. Kontrola CO i smanjenja vidljivosti obavlja se na jedanaest (11) mjesta u tunelskoj cijevi pomoću uređaja za mjerenje koncentracije CO i vidljivosti (slika 14.), a koji su smješteni na udaljenosti od oko 500 m. Mjerni podaci koje generiraju mjerni senzori, daljinski se prenose do središnjeg uređaja za obradu mjernih podataka, a odatle do centra upravljanja i nadzora (COKP-a). Na temelju tako dobivenih mjernih podataka obavlja se automatsko uključivanje pojedinih baterija ili grupa baterija aksijalnih ventilatora. Uključivanje obavlja se redno na temelju algoritma rada sadržanog u software-u koji upravlja radom sustava ventilacije. Sustav ventilacije je projektiran i izveden da pri maksimalnom intenzitetu prometa može održavati maksimalno dozvoljenu koncentraciju CO do 100 ppm i vidljivost u iznosu do  $7 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ . Radi sprječavanja alarmiranja smanjene vidljivosti zbog pojave magle na portalima tunela izvršena je programska blokada prvog mjernog uređaja vidljivosti od portala.



Sl. 14. Uređaj za mjerenje CO i vidljivosti [8]



Kada koncentracija CO u tunelu iznenada poraste iznad dozvoljene granice od 100 ppm, u COKP–i se to signalizira paljenjem alarma o prekoračenju dozvoljene koncentracije CO na određenoj dionici tunelske cijevi, te se tunel automatski, spuštanjem rampi na portalu tj. ulasku u tunelsku cijev u kojoj je došlo do zagađenja, zatvara. Istovremeno operateri COKP–e vrše prosljeđivanje informacije o nastalom događaju voditelju smjene vatrogasne postrojbe putem radio–veze, te vatrogasci nakon obavljenog izviđanja daju povratnu informaciju operaterima. Otvaranje tunela za promet moguće je tek nakon otklanjanja opasnosti uz izričito odobrenje voditelja smjene vatrogasne postrojbe, nakon čega operateri COKP–e otvaraju tunelsku cijev za promet.[11]

## 5.6. Elektroenergetsko napajanje

Elektropotrošači ovog tunela električnom energijom napajaju se iz slijedećih transformatorskih stanica:

- TS 1 Tunel Mala Kapela: 1 x 630 kVA nazivnog napona 10(20)/0,4 kV vanjska trafostanica sa uljnim transformatorom,
- TS 2 Tunel Mala Kapela: 2 x 630 kVA nazivnog napona 10(20)/0,4 kV u tunelu sa suhim transformatorom,
- TS 3 Tunel Mala Kapela: 2 x 630 kVA nazivnog napona 10(20)/0,4 kV u tunelu sa suhim transformatorom,
- TS 4 Tunel Mala Kapela: 2 x 630 kVA nazivnog napona 10(20)/0,4 kV u tunelu sa suhim transformatorom,
- TS 5 Tunel Mala Kapela: 2 x 630 kVA nazivnog napona 10(20)/0,4 kV u tunelu sa suhim transformatorom,
- TS 6 Tunel Mala Kapela: 2 x 630 kVA nazivnog napona 10(20)/0,4 kV u tunelu sa suhim transformatorom,
- TS 7 Tunel Mala Kapela: 2 x 630 kVA nazivnog napona 10(20)/0,4 kV u tunelu sa suhim transformatorom,

- TS 8 Tunel Mala Kapela: 1 x 630 kVA nazivnog napona 10(20)/0,4 kV vanjska trafostanica sa uljnim transformatorom.

Dvije transformatorske stanice (slika 15.) izvedene su izvan tunela u kojima su ugrađeni uljni transformatori, a šest transformatorskih stanica izvedeno je u tunelskoj niši u koju su ugrađena dva suha transformatora koji ne mogu prouzročiti požar s kojim bi se mogle ugroziti osobe u tunelu. Za ove transformatorske stanice ne zahtijeva se da su zaseban požarni sektor i da moraju imati zidove i vrata vatrootporna, međutim ista je izvedena kao zasebni požarni sektor s vatrootpornošću od 60 minuta. U transformatorskim stanicama koje su ugrađene u tunelu ugrađeno je prisilno hlađenje s ventilatorima, a na prodorima zraka u i iz trafostanice postavljene su protupožarne zaklopke s mehaničkim sustavom zatvaranja, vatrootpornosti od 60 minuta. Položaj zaklopki i rad ventilatora se kontrolira u COKP-i.



Sl. 15. Uljna transformatorska stanica [9]

Priključak transformatorskih stanica na mrežu izveden je podzemno sa 10(20) kV energetskim kabelom u formi ulaz–izlaz. Potrošači u ovom tunelu električnom energijom se napajaju preko navedenih transformatorskih stanica koje se napajaju iz dva nezavisna izvora i to iz TS 35/10(20) kV Oštarije preko TS PUO Modruša i TS1 Mala

Kapela prema ostalim transformatorskim stanicama te iz TS 35/10(20) kV Jezerane preko TS8 Mala Kapela i dalje prema ostalim transformatorskim stanicama. Ovakav način napajanja daje veći stupanj sigurnosti opskrbe električnom energijom potrošača u tunelu.

Kod uljnih transformatora koji su postavljeni u vanjske transformatorske stanice, uljna jama ispod transformatora je dovoljnih dimenzija da sakupi kompletnu količinu transformatorskog ulja, ukoliko dođe do njegovog izlivanja te je predviđena zaštita od unutarnjih kvarova pomoću plinskog releja (Buchholz). Transformator je štice termičkom zaštitom, nadstrujnom i kratkospojnom zaštitom, koje imaju funkciju zaštite transformatora od pregrijavanja i eventualnih kvarova na namotaju odnosno unutar kotla transformatora. Prorada navedenih zaštita signalizira kvar, a po potrebi i isključuje transformator.

U transformatorskoj stanici koje napajaju ovaj tunel predviđeno je prenošenje u centar upravljanja prometom slijedećih signala:

- signal prekoračenja temperature energetskog transformatora,
- sklopno stanje SN prekidača i tropoložajne rastavne sklopke u SN poljima,
- sklopno stanje dovodnog NN prekidača u poljima+N1 i+N3 te sekcijskog prekidača u polju+N2,
- signal prorade zaštitnih releja,
- signal prorade VN osigurača naponskih mjernih transformatora.

Pored navedenog sve transformatorske stanice nadzirane su vatrodajnim sustavom s dimno – termičkim detektorima požara u prostoru transformatora, srednjeg napona i prostoru rezervnog izvora napajanja.

## 5.7. Sustav besprekidnog napajanja (ups)

U tunelu je predviđeno rezervno napajanje iz izvora nezavisnog od mreže (suhih akumulatora) pomoću statičkog pretvarača te se prebacivanje sa mrežnog na rezervni izvor napajanja izvodi bez prekida (u prvoj polovici poluperiode sinusnog napona). Rezervni izvor napajanja (UPS) kod smještaja TS 10(20)/0,4 kV u tunel smješten je u

zasebnu građevinu u prostoru niše za transformatorsku stanicu. Vrata prostorije UPS-a su vatrootporna 60 minuta, a cijela građevina ima vatrootpornost veću od 60 minuta (betonski zid debljine 20 cm). Prostorija UPS-a nadzirana je uređajem za automatsko otkrivanje požara (dimno-termičkim detektorom požara) koji su povezani na vatrodojavnu centralu.

Rezervni izvor napajanja kod smještaja TS 10(20)/0,4 kV izvan tunela je smješten u sklopu građevine transformatorske stanice koji je odvojen betonskim zidom debljine 20 cm što osigurava vatrootpornost od 90 minuta. Vrata za ulazak u prostoriju UPS-a su sa vanjske strane građevine i izrađena su od negorivog materijala.

Na rezervno napajanje priključeni su slijedeći potrošači:

- rasvjeta tunelskih niša,
- pješački prolazi,
- mjerni uređaji ventilacije,
- sigurnosna rasvjeta tunela,
- svjetleći SOS uređaji i SOS razdjelnici (niše),
- promjenjivi prometni znakovi,
- upravljački i sigurnosni uređaji prometne signalizacije rasvjete te sustava daljinskog vođenja,
- vatrodojavni sustav,
- rasvjeta hidrantskih niša.

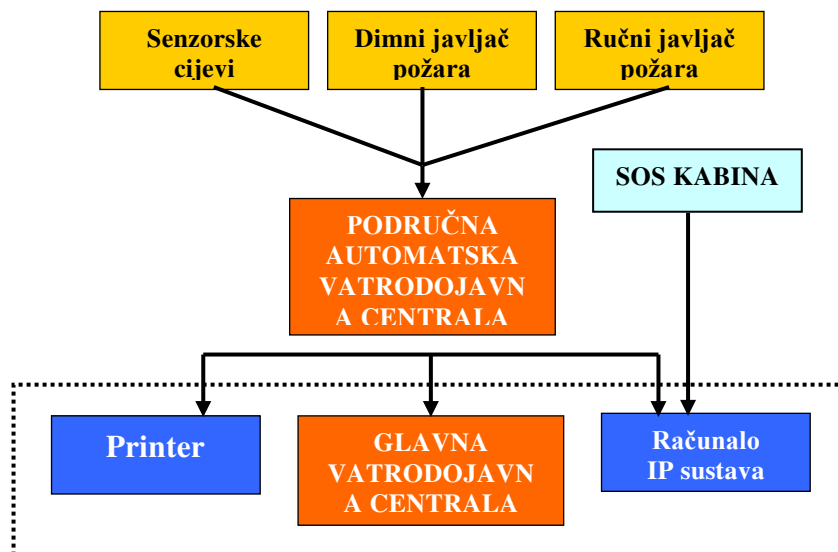
Ispad napajanja navedenih uređaja (potrošača) signaliziran je u kontrolnoj prostoriji COKP-e kao kvar ili dojava opasnosti. Autonomija rezervnog izvora napajanja iznosi dva sata po nestanku mrežnog napajanja.

## 5.8. Sustav za dojavu požara

Istočna i zapadna cijev Tunela Mala Kapela podijeljene su na ukupno 34 vatrodojavne zone (svaka cijev ima 17 vatrodojavnih zona). Prostor pješačkog prolaza gdje je smještena VDC, transformatorska stanica i prostorije UPS-a čine zasebno dojavno područje. Tunelska cijev nadzire se senzorskim kabelom u dvije sekcije približno jednake dužine. Senzorski kabel se vodi neposredno ispod najviše točke stropa

na maksimalnoj udaljenosti od 20 cm od stropa. U transformatorske stanice, prostor UPS-a i prostore u koje se ugrađuje vatrodajna centrala (pješački prolazi) ugrađena je kombinacija dimnog optičkog i termo maksimalnog javljača požara. Pored navedenog na sustav za dojavu požara povezani su signali podizanja vatrogasnog aparata u SOS niši, ispred TS-a i UPS-a te na portalima tunela.

Odmah po alarmiranju vatrodajve i nastanku požara tunel se zatvara u oba smjera, a operateri obavještavaju radio-vezom vatrogasnu postrojbu sa informacijom u kojoj je vatrodajnoj zoni zabilježen požar. Daju vatrogascima obavijesti o kakvoj se vrsti požara radi (požar automobila, požar sa sudarom, požar na autocisterni, požar trafostanice, itd.), koji je približan broj ljudi i vozila u tunelu, koliko su udaljeni zidni hidranti i koliki im je tlak vode, kao i informacije o udaljenosti od skloništa za ljude. Nakon obavještavanja vatrogasaca dojavni centar o nastalom događaju izvještava ophodarske službe TJO Mala Kapela, Brinje i Ogulin sa zadaćom zatvaranja dionice autoceste od čvora Ogulin do čvora Brinje. Paralelno sa tim vrši se i obavješćivanje Policijskih uprava Karlovačke i Ličko-senjske županije, Hitne medicinske pomoći Opće bolnice Ogulin, Centra 112 DUZS i HAK-a. Tek nakon završetka gašenja požara voditelj smjene vatrogasne postrojbe o tome obavještava COKP-Mala Kapela nakon čega operateri vrše provjetravanje i odimljavanje tunela. Na slici 16. prikazana je načelna shema vatrodajve u Tunelu Mala Kapela.



Sl. 16. Načelna shema vatrodajve u Tunelu Mala Kapela [10]

Elementi vatrodojavnog sustava u tunelu su:

- vatrodojavna centrala s upravljačko–indikacijskim panelom,
- senzorski kabel u glavnoj tunelskoj cijevi,
- kontrolori za obradu optičkog signala i njegovu pretvorbu u električni signal,
- automatski javljači požara u transformatorskim stanicama i UPS-ovima, te u pješačkim prolazima s dimno–termičkim detektorima požara (gdje je smještena vatrodojavna centrala),
- ručni javljači požara u SOS nišama i na portalima tunela,
- kontrolno ulazno–izlazni moduli,
- uređaji za uzbunjivanje,
- pripadna kabelska instalacija.

Zbog velike dužine tunela vatrodojavni sustav izveden je decentralizirano s četiri vatrodojavne centrale. Centrale su smještene u pred-prostorima pješačkih prolaza broj 2., 7., 10. i 13.. Petlje u kojima se nalaze detektori požarnih karakteristika su nadzirane na kratki spoj, spoj na masu i prekid petlje što se treba na vatrodojavnoj centrali registrirati kao kvar. Na vatrodojavnoj centrali se signalizira i kvar pojedinog elementa vatrodojavnog sustava. Vatrodojavne centrale spojene su sa COKP–om preko modula za daljinsku vezu te se svi važni signali o stanju vatrodojavne centrale prenose u COKP–u. Signal alarma iz pojedine dojavne zone odnosno iz pojedinog dojavnog područja uzrokuje usmjeravanje najbliže kamere prema mjestu s kojeg je dojava došla, a u COKP–u se oglašava zvučni alarm, a na monitoru se prikazuje slika s mjesta dojave. Zvučni alarm se može poništiti samo intervencijom osoblja u COKP–i.

Napajanje vatrodojavnog sustava električnom energijom osigurano je iz tri izvora i to:

- primarno napajanje iz stacionarne mreže 220 V,
- u slučaju ispada mreže iz akumulatorskih baterija preko stacionarnog pretvarača koji je lociran u prostoriju UPS–a (u blizini transformatorskih stanica),
- iz vlastite akumulatorske baterije koje su pridružene vatrodojavnoj centrali, a iste se mogu dopunjavati.

U slučaju prekida napajanja iz primarne mreže unutar 10 sekundi se prebacuje na pomoćni izvor napajanja iz UPS–a ili sa vlastite baterije, a stanje ispada mreže registrira se na vatrodojavnoj centrali. Baterije osiguravaju stalno napajanje vatrodojavnog sustava u trajanju od 72 sata i 30 minuta u alarmu. Uređaj za punjenje baterije osigurava da se ispražnjena baterija napuni do 80% kapaciteta u roku od 24 sata, a do potpune napunjenosti da dođe u roku od 72 sata. [12]

#### 5.9. Telefonski pozivni sustav (SOS) tunela

Radi dojave o izvanrednim situacijama u tunelu i njegovim prilazima (prometna nezgoda s ili bez požara i ozlijeđenih osoba, kvar na vozilu i drugo), izgrađen je telefonsko-pozivni sustav koji se sastoji od SOS kabina u kojima se nalazi dugme za SOS poziv sa zvučnikom i mikrofonom preko kojeg se uspostavlja veza sa dežurnom osobom u COKP–u i telefonsko pozivnih stupića (TPS) na portalima tunela. Pored pozivanja i uspostavljanja veze sa dežurnom osobom u SOS niši (slika 17.) se nalazi i ručni javljač požara kojim se direktno dojavljuje požar u COKP–u, te dva vatrogasna aparata tipa S6 za početno gašenje požara na vozilima. Ukupno je u zapadnoj cijevi tunela Mala Kapela postavljeno 40 SOS kabina i to 20 s desne i 20 s lijeve strane tunelske cijevi, a u istočnoj cijevi postavljena je 41 SOS kabina samo sa desne strane tunelske cijevi. Na južnom i sjevernom portalu tunela s jedne i druge strane postavljen je po jedan telefonski pozivni stupić. (slika 18.)



Sl. 17. SOS niša [11]

Poziv iz TPS-a i SOS kabine operater u COKP-u prima na posebnom panelu (konzoli) priključenom na centralu, a odziv je pritiskom na bilo koju tipku, te se na displeju pojavljuje oznaka identifikacije TPS-a ili SOS-a. Poziv iz TPS-a i SOS-a se u COKP-u signalizira optički i akustički, a kada je na vezu odgovoreno, operater može odlučiti hoće li ovu vezu prekinuti, ostaviti na čekanju ili proslijediti na javnu telefonsku mrežu. Istodobno s ulaskom (otvaranjem vrata SOS kabine) u tunelu se na mjestu SOS uređaja, automatski uključi treptajuće žuto svjetlo (treptači) koji upozoravaju korisnike tunela da nailaze na područje izvanredne situacije u tunelu.



Sl. 18. Telefonsko pozivni stupić [11]



Najčešći pozivi putem SOS telefona su zbog vozila u kvaru u tunelu. Nakon što je operater u COKP–i zaprimio poziv i locirao mjesto zaustavljenog vozila, operater prometa pristupa regulaciji prometne signalizacije, na način da dionicu na kojoj je vozilo zaustavljeno zatvori za promet (zatvaranje vozne trake), smanjivanje brzine u tunelu na 40 km/h i obavješćivanje drugih sudionika u prometu preko monitora sa obavijesti vozilo u kvaru. Radio–vezom o nastalom događaju izvještava ophodarsku službu koja pristupa izvlačenju vozila iz tunela. Nakon što se zaustavljeno vozilo izvuče iz tunela, ophodar o tome izvještava COKP–u koja prometnu signalizaciju vraća u redovno stanje. [13]

#### 5.10. Sustav video nadzora tunela

Video nadzor postavljen u tunelu Mala Kapela sastoji se od 78 kamera koje nadziru promet u zapadnoj cijevi tunela, 68 kamera u istočnoj cijevi tunela i 4 rotirajuće kamere sa zumom na portalima. Pored navedenog u svakom pješačkom prolazu i okretištu ugrađena je po jedna kamera (ukupno 20 kamera) za nadzor evakuacije osoba iz tunela u slučaju nesreće te prolaz vozila hitnih službi na okretištima. Raspored kamera osigurava kontinuirani nadzor prometa u tunelu. Na slici 19. prikazan je video zid u COKP-a Tunela Mala Kapela.



Sl. 19. Video zid u COKP-a Tunela Mala Kapela [12]

Signali sa svih kamera dovode se na matični sklop TV centrale, gdje centralna procesorska jedinica upravlja cjelokupnim radom sustava. Pravilnim izborom redoslijeda uključivanja pojedinih kamera na topXview sustavu omogućava se operateru kvalitetno praćenje prometa i svih događaja u tunelu. TV centrala je preko sučelja vezana na sustav daljinskog upravljanja prometom u tunelu Mala Kapela te na znak alarma na pojedinoj točki u tunelu automatski uključuje najbližu kameru i uređaj za snimanje zbivanja na tom mjestu. S upravljačkog mjesta u TV centru upravlja se i pokretnim kamerama na portalima tunela. Preko sustava video–detekcije moguće je u tunelu otkriti zaustavljeno vozilo na traci ili zastoj vozila, pogrešan smjer kretanja vozila i pojavu dima u tunelu te se preko topXview sustava ovi signali procesuiraju na način da je omogućena reakcija operatera koji na osnovi događaja može zatvoriti traku ili cijeli tunel te alarmirati vatrogasnu postrojbu ili ophodare. Za prikaz odvijanja prometa u tunelima predviđeno je 4 alarmna monitora i više kontrolnih monitora te tri normalna prikaza kamera u tunelu koji se mogu uključivati ovisno o zahtjevima cjelokupnog sustava nadzora prometa u tunelu. U sklopu TV centrale ugrađena su dva uređaja za dugotrajno snimanje (VCR ili HD) na jednom od njih se stalno snimaju signali svih kamera bez obzira da li se njihova slika tog trenutka prikazuje na monitoru ili ne. Drugi uređaj za snimanje služi za snimanje samo incidentnih situacija kada je sekcija na kojoj se incident dogodio već locirana, a služi i za naknadno pregledavanje ranije snimljenih događaja. Za video nadzor koriste se dvije vrste kamera i to fiksne (slika 20.) i pokretne.



Sl. 20. Fiksna video kamera [13]

Fiksne kamere su ugrađene u tunelskim cijevima i postavljene su tako da svaka kamera pokriva jednu dionicu tako da se može pratiti promet kroz cijelu dužinu tunela. Osjetljivost kamere je takva da se i u slučaju smanjene vidljivosti osigura kvalitetna slika na monitoru. Po dvije pokretne kamere se koriste na ulazima u oba portala i daljinski su upravljive, a okreću se oko vertikalne osi za 360° i oko horizontalne osi za 180°. Pokretnim kamerama se upravlja iz COKP-e tipkovnicom ili joy stick-om, a kada prestane upravljanje same se vraćaju u položaj koji je unaprijed određen.

#### 5.11. Plan uzbunjivanja u tunelu

Na vatrodojavnoj centrali moguće je programirati odgođeno uzbunjivanje, pri tome vrijeme potvrde alarma nije duže od 15 sekundi, a vrijeme za izviđanje opasnosti manje od 3 minute.

Radnje koje se trebaju poduzeti u ovisnosti od aktiviranja određenog elementa sustava su:

- alarm ručnog javljača požara tretira se kao pouzdan i trenutno aktivira zvučni alarm, zatvara se tunel za promet, uzbunjuje se vatrogasna postrojba i poduzimaju se druge radnje za gašenje požara (upućivanje dodatnih vatrogasnih snaga na mjesto uključanja ručnog javljača),
- kod signalizacije automatskog javljača požara (točkasti javljač) i senzorskog kabela programirano je odgađanje uzbunjivanja i zatvaranje tunela, a operater mora u roku od 15 sekundi potvrditi alarm, a ako se to ne dogodi prelazi se u generalni alarm sa zatvaranjem tunela i uzbunjivanjem vatrogasne postrojbe. Nakon potvrde prijema alarma obavlja se provjera događaja na video kamerama i vatrodojavnom sustavu (temperaturni profil ili drugi javljači požara) te nakon toga ako se utvrdi postojanje požara uzbunjuje se vatrogasna postrojba, a po isteku 3 minute zatvara se tunel za promet i oglašava se zvučni alarm za poduzimanje mjera gašenja požara,
- podizanje vatrogasnog aparata tretira se kao tehnički alarm s odgodom izvršenja uz potvrdu prijema te nakon provjere stanja u tunelu ako se utvrdi postojanje

požara oglašava se zvučni alarm za poduzimanje mjera gašenja požara (upućivanje vatrogasne postrojbe),

- ulazak u SOS kabinu te podizanje vatrogasnog aparata,
- ulazak u SOS kabinu i aktiviranje SOS dugmeta,
- zaustavljanje vozila u ugibalištu–kvar,
- zaustavljanje vozila u okretištu–kvar,
- kontrola tlaka u hidrantskoj mreži,
- kvar na ventilaciji (mjernih uređaja ili ventilatorskih baterija),
- smanjenje vidljivosti u zoni mjerenja,
- prometna nezgoda bez požara,
- prometna nezgoda sa povrijeđenima,
- rasipanje tereta po kolniku tunela–tekućeg,
- postupci kod pojedinih operacija održavanja tunela (pranje, popravak i sl.),
- postupci kod kvarova pojedinih uređaja i opreme koji imaju upliv na sigurnost prometa u tunelu i sl.

Svi navedeni signali i postupci moraju se prikazati na jedinstvenom panelu u COKP-i, a svaki aktivirani element mora treptati bojom koja mu je pripisana. Za svaki alarm mora postojati automatski postupak rada drugih sustava (ventilatora, prometne signalizacije, kamera, ozvučenja, vatrogasaca i dr.).

Na vatrodojavnoj centrali omogućena je jednoznačna vizualizacija kompletnog nadziranog prostora pokrivenog jednom centralom. Glavni nadzor obavlja se iz COKP-e preko osobnog računala na koji su vezane vatrodojavne centrale iz tunela preko modula za daljinsku vezu.

## 5.12. Dodatne sigurnosne mjere u tunelima

Moderna generacija inteligentnih mikroprocesorskih detektora tvrtki Esser i Siemens Building Technologies, rezultat je dugogodišnjeg razvoja i kao takav je primjer izvrsnosti u integraciji najnovijih tehnoloških dostignuća. Posebna pažnja posvećena je dizajnu, fokusiranim na multifunkcionalnost i dugotrajnost, uključujući u isto vrijeme i

posljednje trendove građevne tehnologije. Vatrodojavna zaštita i građevna tehnologija sada su vidljivo stopljene, kreirajući harmoničnu simbiozu. Savršen raspored svih komponenti najnovijeg IQ8Quad detektora, tvrtke Esser, rezultirao je tankim kućištem, elegantnog dizajna, koji osigurava estetsku prihvatljivost u različitim interijerima. Povećana detekcijska komora omogućuje integraciju posljednjih senzorskih tehnologija.

Bitna odlika ovog detektora je multifunktionalnost, što znači da su u njemu objedinjene funkcije detekcije, svjetlosnog alarma (bljeskalice) i zvučnog alarma (sirene), za što su u prošlosti bila potrebna tri odvojena kućišta.

### **Detekcija:**

Različiti IQ8Quad modeli omogućuju optimalnu zaštitu za različite uvjete okoline u kojima se obavlja detekcija. Postoje četiri vrste IQ8Quad detektora:

- optički detektor osigurava zaštitu ranom detekcijom požara,
- T-termički detektor omogućuje pouzdanu detekciju požara u uvjetima brzog ili sporog porasta temperature,
- O2T-optičko/termički detektor omogućuje pouzdano određivanje razlike između vrsta gorenja i prepoznavanja lažnih fenomena u teškim uvjetima okoline,
- OTG-optičko/termički detektor sa ugrađenim sensorom za dojavu ugljičnog monoksida (CO) pruža dodatnu, vrlo korisnu, funkcionalnost.

### **Svjetlosni alarm (bljeskalica):**

Bljeskalica je gotovo nevidljiva u neaktivnosti, dok ju je gotovo nemoguće ne primijetiti u alarmnoj aktivnosti. Zbog specijalne optičke konstrukcije kućišta bljeskalice, svjetlost je uočljiva iz svih smjerova (360°).

### **Zvučni alarm:**

Sirena je sastavni dio IQ8Quad-a. Sa akustičkom snagom do 92 decibela upotpunjuje uvjete visokih zaštitih standarda, kao i obvezan zvučni alarmni ton prema EN 54. Nema potrebe za instalacijom dodatne alarmne sirene.

### **Glasovni alarm:**

Vrhunac funkcionalnosti je mogućnost generiranja evakuacijske glasovne poruke u samom detektoru. Moguće je kreirati četiri unaprijed programirana glasovna alarma (plus test glasovni alarm), osiguravajući da u slučaju dojava požara budu uštedene dragocjene sekunde i time smanjen rizik od panike.

Postoje detektori za specijalne aplikacije: linearni detektori dima, detektori požara uzorkovanjem zraka, detektori plamena, bežični radio detektori, specijalni detektori za eksplozivne prostore i linearni detektori topline (FibroLaser II).

**Linearni detektori dima** rade na principu emitiranja svjetlosnog snopa duž nekog praznog prostora te prijem istog refleksijom na specijalnim reflektorskim elementima. Pojavom požara, dim prigušuje intenzitet svjetlosnog snopa, a kao rezultat tog prigušenja prijemnik specijalnim algoritmom procesira dobivenu informaciju i definira razinu opasnosti. Takvi sustavi se primjenjuju za nadzor velikih prostora u hangarima, skladištima, industrijskim halama, muzejima, crkvama, povijesnim građevinama i slično.

**Sustavi detekcije uzorkovanjem zraka** rade na principu uzimanja uzoraka zraka iz prostorije putem cijevnih instalacija s rupicama u koje ulazi zrak kao posljedica podtlaka koji stvara aktivni element (ventilator) u centralnom uređaju, gdje se obavlja detekcija zraka vrlo osjetljivim sensorima. Cijevne instalacije se mogu vrlo fleksibilno razvući po prostoru koji nadziremo (npr. visoko regalna skladišta, prostori sa telekomunikacijskom opremom, server sobe, energetske prostori, čisti prostori, hladnjače, itd.), osiguravajući na taj način vrlo ranu detekciju požara. Vrlo je bitno naglasiti da je takav sustav vrlo važan u uvjetima gdje je nužno detektirati požar u vrlo ranom stadiju te na taj način odgovarajućim sustavom gašenja spriječiti velike štete koje bi mogle nastati eventualnim širenjem požara.

**Detektor plamena** je vrlo koristan za detekciju na otvorenom prostoru ili u industrijskim postrojenjima. On mora biti imun na neželjene utjecaje što se postiže korištenjem multisenzorske tehnologije, kod koje su senzori osjetljivi na različite valne duljine. U praksi se točno zna kakav je spektar plamena, te se na osnovi spektralne analize, odnosno kompariranjem signala sa senzora i njihovim procesiranjem može

razlučiti pravi plamen od npr. sunčeve ili umjetne svjetlosti, toplog stroja u industriji i slično.

Za eksplozivne prostore se primjenjuju isključivo **specijalno konstruirani detektori**, koji ne mogu ni u kakvim okolnostima prouzročiti iskrenje ili elektromagnetska pražnjenja, koja bi mogla uzrokovati zapaljenje ili eksploziju u prostoru koji se nadzire.

**Bežični interaktivni detektori** za dojavu požara imaju iste karakteristike kao i standardni interaktivni detektori, samo što nije potrebna žičana veza među njima. Često se primjenjuju u situacijama gdje se zbog povijesne, umjetničke i kulturološke vrijednosti objekta ili jednostavno zbog estetskih razloga ne polaže klasična instalacija, zbog mogućnosti oštećenja unutrašnje jezgre objekta (zidova, stropova).

Ranije spomenute značajke požara u tunelima nameću na sustav vatrodojave oštre zahtjeve. On 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 vatrodojavnog sustava tunela ne razlikuju se bitno od sustava u nekom drugom objektu. Glavni elementi vatrodojavnog sustava u tunelu su:

- vatrodojavna centrala,
- ručni javljači požara,
- automatski javljači požara,
- elementi sustava za prosljeđivanje signala požara,
- elementi sustava za upravljanje sustavom za gašenje požara,
- napajanje.

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. U tablici 3. prikazani su rezultati ispitivanja pet tipova javljača u tunelu Mosi u Švicarskoj, obavljenog 1992.

Tab. 3. Vrijeme (min:s) prije alarma u pokusnim požarima s alkoholom (Alc)[14]

Test br.	7	8	9	10	12	13	14	11
Izvor plamena Površina plamena (m <sup>2</sup> )	Alc1	Alc2	Alc3	Alc4	Benzin0,6	Benzin1	Benzin2	Benzin2
Točkasti javljač temp.- pred alarm – alarm	1:35 –	1:25 5:15	0:69 1:68	1:02 1:61	1:03 –	0:43 1:33	0:26 0:33	0:53 0:63
Koaksijalni temp. osjetljivi kabel	–	–	–	–	–	1:44	0:22	0:34
Linearni javljač temperature	–	5:18	4:09	1:39	1:50	1:21	0:40	*
Linearni dimno osjetljivi kabel	–	4:51	–	4:52	0:03	0:02	0:03	0:02
Optički senzorski kabel	3:34	4:50	1:10	1:08	1:05	0:52	0:33	0:42

\* Javljač je bio zagrijan od prethodnog testa

Iz rezultata ispitivanja daje se zaključiti da su linearni javljač temperature i optički senzorski kabel dali najbolje rezultate. Linearni javljači su, osim toga, znatno robusniji od točkastih javljača, pa su dugoročno gledano puno manji troškovi eksploatacije, a rad sustava je pouzdaniji. U agresivnoj atmosferi kakva vlada u tunelima otpornost sustava je jedan od bitnih kriterija.

Trenutno jedan od najsuvremenijih sustava zasnovanih na **senzorskim kabelima** predstavlja onaj koji koristi laserski protjecan optički vodič. Princip rada zasniva se na promjeni parametara laserskog snopa u optičkom vodiču uzrokovanoj deformacijom vodiča. Deformaciju uzrokuje širenje cijevi napunjene voskom uslijed porasta



temperature. Cijev s voskom i optički vodič čvrsto su zajedno obavijeni tankom trakom od aramida, tako da se deformacija cijevi s voskom prenosi na optički vodič. Proces je reverzibilan kada dođe do hlađenja, cijev s voskom i optički vodič vraćaju se u prethodni oblik i dimenzije. Cijev s voskom i optički vodič oklopljeni su metalnom cijevi što cijeli kabel čini izrazito robusnim.

Karakteristike sustava sa optičkim senzorskim kabelom su:

- potpuna neosjetljivost na:
  - elektromagnetske utjecaje,
  - tlačne udare,
  - brzinu strujanja zraka,
  - vlažnost,
  - vibracije,
  - promjene temperature uslijed meteo uvjeta.
- visoka otpornost na:
  - agresivne kemikalije,
  - mehaničke utjecaje,
  - sol s ceste,
  - gomilanje prašine i nečistoća,
  - zapljuskivanje vodom,
  - redovno čišćenje tunela.
- optički senzorski kabel mjeri:
  - gradijent temperature,
  - maksimalnu zadanu temperaturu.[15]

## 6. TAKTIČKI ZADATAK - POŽAR VOZILA U TUNELU

### 6.1. Gašenje požara na vozilima u tunelima

Gašenje požara osobnih automobila u tunelima spada u jedne od najtežih poslova što se tiče gašenja, kako vozaču tako i vatrogasnoj postrojbi. Karakteristično za požare u tunelu je da temperatura u blizini mjesta požara raste veoma brzo i dostiže visoke vrijednosti zbog egzotermnosti procesa gorenja. 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, raznorazni tereti. U slučaju da se zapali vozilo ako je ikako moguće isto pokušati dovesti van prostora tunela, a ukoliko nije moguće upaliti sve pokazivače smjera kako bi upozorili ostale sudionike u prometu, te stati što više udesno, na ugibalište ili u traku za zaustavljanje vozila u nuždi. Zatim je bitno da se isključi motor i nastoji što manje paničariti. Ukoliko vozač posjeduje aparat za gašenje pokušati što prije djelovati na sam izvor paljenja, a ukoliko ne posjeduje, pokušati u što kraćem roku doći do označenog mjesta u tunelu gdje se nalazi aparat za gašenje. Obzirom da se uz sam aparat uglavnom nalazi i telefon za SOS pozive, odmah obavijestiti nadležne vatrogasne postrojbe kako bi mogle u što kraćem vremenu intervenirati. U slučaju da vatra izmakne kontroli pritisnuti i alarm koji se nalazi u blizini aparata za gašenje, čime se automatski aktiviraju kamere, a brzina u tunelu se ograničava, odnosno upozorava se ostale sudionike u prometu na moguću nesreću. Vozilo pokušavati u što većoj mjeri imati na oku, te ukoliko vatra izmakne kontroli uputiti se prema mjestu gdje se izlazi iz tunela ili izlazu za nuždu. Sustav vatrodjave mora biti pouzdan i otporan na lažne alarme, te po mogućnosti dati informacije koje mogu biti od pomoći vatrogasnim postrojbama, te drugim spasilačkim službama. Bitni elementi toga sustava su vatrodjavna centrala, ručni javljači požara, automatski javljači požara, elementi sustava za prosljeđivanje signala požara, elementi sustava za upravljanje sustavom za gašenje požara i napajanje. Akcije spašavanja i vatrogasne akcije u tunelima postavljaju pred intervencijske timove veće zahtjeve nego požari zgrada. Neki od razloga za to su da je raspoloživa površina za odvođenje produkata izgaranja je mnogo manja, pa su temperature okoliša bitno veće čak i na

relativno velikoj udaljenosti od žarišta. To stvara dodatno fiziološko opterećenje vatrogasaca. Prostor za djelovanje ograničen je dimenzijama tunela. Pristupi do tunela redovito su dulji nego pristupi do zgrada, što produljuje vrijeme odziva vatrogasaca. Pristup od portala do mjesta požara može biti dug, zakrčen vozilima i ometan ljudima koji bježe od požara te ih ponekad treba spašavati, što sve usporava akciju gašenja. Uvjeti u tunelu na putu do mjesta požara često su karakterizirani lošom vidljivošću, strujanjem zraka, povišenom temperaturom, smanjenom koncentracijom kisika uz povećanu koncentraciju CO, CO<sub>2</sub> i drugih opasnih plinova. Prepoznavanje uvjeta na požarištu odnosno akcidentu ometaju loša vidljivost i vizura iz dvaju ili čak samo jednog smjera. Požari u tunelu mnogo su rjeđi nego požari zgrada, pa vatrogasci (posebno dobrovoljni) imaju općenito manje iskustva. Respiratorna zaštitna oprema mora se stalno nositi, što povećava fiziološko opterećenje, skraćuje vrijeme boravka u opasnoj zoni i umanjuje sposobnosti percepcije okolišnih uvjeta (vidom, sluhom, mirisom itd.). Stoga bi vatrogasci koji po potrebi interveniraju pri tunelskim požarima morali proći obuku u realnim uvjetima.

Ukoliko se dogodi da se naiđe na požar osobnog automobila u tunelu, bitno je zadržati dovoljnu udaljenost od vozila zahvaćenog požarom, zaustaviti vozilo što je bliže moguće desnom rubu kako bi se osigurao nesmetan prolaz vatrogascima i drugim spasiteljima, te ga ugaziti, uz ostavljena pozicijska svjetla radi primjećivanja od strane spasilačkih službi, ukoliko je dim već zahvatio veći dio tunela. Najbitnije je ostati priseban te pokušati u što kraćem vremenu izaći iz tunela uz što se podrazumijeva pomoć svim unesrećenima, i izvještavanje nadležnih institucija za spašavanje prije svega vatrogasnih postrojbi pomoću SOS telefona koji se nalazi u samome tunelu.

Kao što je u prethodnom poglavlju objašnjeno tako i kod požara osobnih automobila u tunelu veliku upotrebu imaju specijalne IFEX impulsne puške, bilo u obliku naprtnjače, na tačkama, ugrađene na motorno vozilo, ili ugrađene na vatrogasni motocikl.

Na (slici 21) prikazan je pristup vatrogasne postrojbe prilikom dogašivanja požara u tunelu.[16]



Sl. 21. Dogašivanje vozila izgorjelog u tunelu [16]

## 6.2. Požar manjeg kamiona u tunelu

Dana xy u 14:25h osoblje nadzornog centra Tunel Mala Kapela primjećuje naglo zaustavljanje manjeg kamiona na drugom kilometru tunela gledano od zagrebačke prema splitskoj strani. Desetak sekundi kasnije uočeno je izbijanje vatre iz kabine vozila. Budući da je vozač zaustavio goruće vozilo te zbog panike pobjegao, vatra se proširila na ceradu vozila zbog čega je ubrzo gusti crni dim u potpunosti obuhvatio cijeli prostor oko vozila. Osoblje nadzornog centra istog trenutka zatvara sve ulaze u tunel za javni promet, uključuje audio vizualnu signalizaciju u slučaju požara, započinje rad sa ventilacijom te obavještava vatrogasce koji se nalaze na portalu tunela.

Obzirom da vatrogasci kreću s zagrebačke strane tako je usmjeren i rad ventilacije, odnosno strujanja zraka u tunelu. Vrsta ventilacije je uzdužna.

U 14:26h vatrogasci izlaze na mjesto događaja u sastavu; kombinirano vatrogasno vozilo za gašenje pjenom i vodom (u daljnjem tekstu KV1), malo kombinirano vatrogasno vozilo (u daljnjem tekstu KV2) te evakuacijsko vozilo (u daljnjem tekstu EV).

U 14:28h vatrogasci stižu do požara i pozicioniraju vozila na način da su KV1 i KV2 jedan iza drugoga tako da kraj njih može nesmetano prolaziti EV .

Članovi EV su vozač (u daljnjem tekstu V1), te vatrogasac član grupe (u daljnjem tekstu V2). Dolaskom do vozila koja su se zatekla u tunelu za vrijeme događaja V1

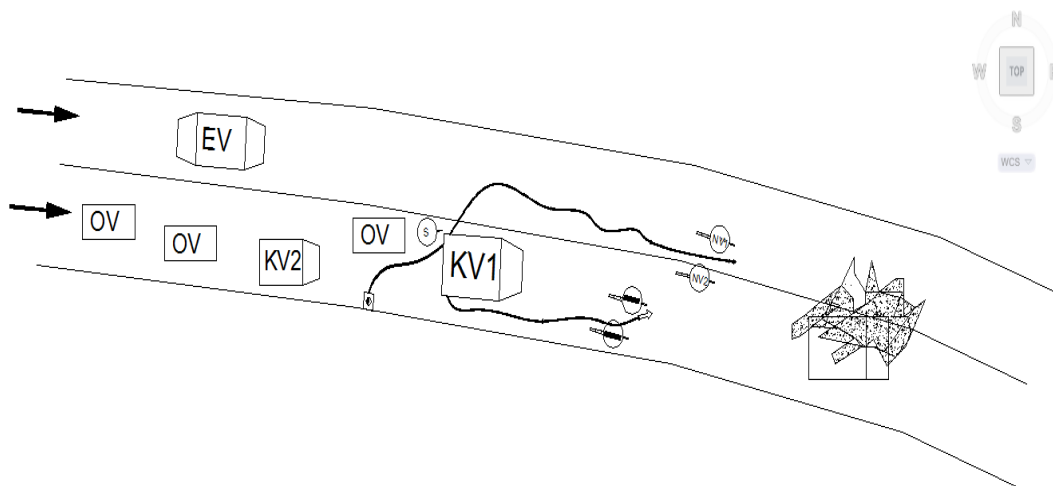
zaustavlja EV te prelazi u suprotnu kabinu. V2 zatim izlazi iz EV opremljen izolacijskim aparatom za disanje te pomaže civilima da uđu u EV. Nakon što je V2 uveo sve civile u EV te potvrdio da su to svi, daje znak V1 da krene prema izlazu.

Za to vrijeme navalna grupa KV1 postavlja C cijevi na način da ih direktno spaja na izlaz iz pumpe vozila. Pritom koriste univerzalnu mlaznicu stvarajući istovremeno zaštitni i puni mlaz te kreću u akciju gašenja. (slika 22.)

Posada KV2 koristeći CAFS sustav za gašenje sa KV1 pridružuje se navalnoj grupi KV1. Obje grupe gase na udaljenosti oko 15 metara od žarišta zbog nemogućnosti bližeg prilaska poradi znatnog isijavanja topline.

Strojar KV1 neposredno nakon opsluživanja navalnih grupa spaja vozilo na obližnji hidrant.

Požar je lokaliziran u 14:45h a sljedećih 10 minuta je dogašivan jednim C mlazom vode. U 14:55h požar je potpuno ugašen.



Sl.22. Shema razmještaja vozila na intervenciji [17]

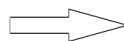
Legenda:



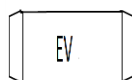
- osobno vozilo



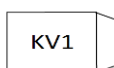
- smijer ulaska vatrogasne postrojbe



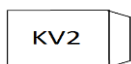
- mlaznica za pjenu



- evakuacijsko vozilo



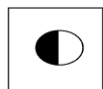
- kombinirano vozilo za gašenje požara pjenom i vodom



- malo kombinirano vozilo



- mlaznica za vodu



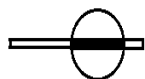
- unutarnji hidrant



- tlačna "C" cijev



- tlačna "B" cijev



- vatrogasac opremljen zaštitnim odjelom i izolacijskim aparatom

Sl.23. Legenda vatrogasnih simbola [18]

### **Proračun sredstava za gašenje**

Vrijeme gašenja=15min-1 C mlaz vode i 1 C mlaz pjene (CAFS)

Vrijeme dogašivanja=10min-1 C mlaz vode

Doziranje=3%

#### **CAFS→**

Volumen otopine= Volumen mlaznice x vrijeme gašenja

Volumen otopine=230L/min x 15min

**Volumen otopine=3450 L**

Volumen pjenila= Volumen otopine x doziranje

Volumen pjenila=3450 l x 3%

**Volumen Pjenila ≈104 L**

Volumen vode za gašenje= volumen otopine- volumen pjenila

Volumen vode za gašenje=3450 L-104 L

**Volumen vode za gašenje=3346 L**

#### **1 C mlaz vode →**

Volumen vode za gašenje= volumen mlaznice x vrijeme gašenja

Volumen vode za gašenje=230 L/min x 15 min

Volumen vode za gašenje=3450 L

Volumen vode za dogašivanje=500 L

Volumen vode u cijevima=5 C cijevi x 15m x 2.12 L/m+1 B cijevi x 15m x 4.4 L/m

Volumen vode u cijevima=159 L+ 66,15 L=225,15L

Volumen vode ukupno=volumen vode za gašenje+ volumen vode za dogašivanje+volumen vode u cijevima

Volumen vode ukupno=3346 L +3450 L +500 L +225,15L

Volumen vode ukupno ≈ 7500 L

### 6.3. Izvješće vatrogasne intervencije gašenja požara u tunelu

**Hrvatske autoceste održavanje i naplata cestarine d.o.o., Širolina 4, Zagreb, Hrvatska / tel.: +385 1 46 94 595 / fax.: + 385 1 4694 493**

Društvo upisano kod Trgovačkog suda u Zagrebu pod brojem MBS: 080816791 /

Temeljni kapital:20.000,00 kn

OIB **62942134377**, MB:**2953897**, IBAN računa **HR 19234000911105 5618 5**, SWIFT CODE:**PBZGHR2X** kod Privredne banke Zagreb d.d.,

/ Predsjednik Uprave: Alen Kruhak, dipl.oec./ Član Uprave: Željko Horvat, dipl.ing.prom./

VATROGASNA POSTROJBA HAC ONC

VATROGASNA POSTAJA MALA KAPELA

### 6.4. Izvješće o intervenciji

#### **(POŽAR - TEHNIČKA INTERVENCIJA)**

**Broj izvješća; 00/2016.**

- 1.VRSTA INTERVENCIJE: POŽARNA INTERVENCIJA.
2. MJESTO INTERVENCIJE: MALA KAPELA tunel UGIBALIŠTE BR.3.
3. DOJAVIO (ime, prezime i način dojava): COKP Mala Kapela Radio vezom.
4. OŠTEĆENI (vlasnik ili korisnik):Hrvatske autoceste održavanje i naplata cestarine.
5. PODACI O OBJEKTU-VOZILU-PROSTORU NA KOJEM SE INTERVENIRALO:  
Teretno vozilo mase < 3 tone
6. STANJE PROSTORA-VOZILA-OBJEKTA U TRENUTKU DOLASKA NA MJESTO INTERVENCIJE: Visoka zadimljenost, požar u razvojnoj fazi.
7. DA LI JE TKO BORAVIO U OBJEKTU-VOZILU-PROSTORU (ime i prezime): Putnici napustili vozilo u plamenu i sklonili se u pješački prolaz.
8. KRATKI OPIS INTERVENCIJ: Dolaskom na mjesto nesreće i utvrđivanjem da nema ugroženih, vršimo gašenje požara vozila pomoću 1 mlaza pjene sa vitla vozila „4“ .  
Požar za 4 min stavljamo pod nadzor i nakon 15 minuta potpuno ga gasimo.
9. OPREMA I VOZILA KOJIM SE INTERVENIRALO :*Tunelska vozila Mala kapela 1 i Mala kapela2, i Mala kapela3*
10. VRSTA I KOLIČINA UTROŠENIH SREDSTAVA NA INTERVENCIJI: 7500 litara



vode iz vozila i hidranta, 104 litara pjenila.

11. DJELATNICI NA INTERVENCIJI: 5 vatrogasaca

12. OZLJEĐENI ILI POGINULI NA INTERVENCIJI: - jedna teže ozlijeđena osoba

13. PODACI O DOJAVI INTERVENCIJE:

13.1. Dojava primljena:----..2016 god. u 10 sati i 30 min.

13.2. Dolazak na mjesto intervencije: u 10 sati i 32 min.

13.3. Intervencija završena: --- .. god. u 11 sati i 04 min.

13.4. Povratak u postaju:----.. u 11 sati i 14 min.

**INTERVENCIJOM RUKOVODIO**

XXXXXXXXXXXX

## 6.5. Dojavnica

DOJAVNICABROJ;--/ 16.

1. Vrsta događaja: Požar u tunelu Mala Kapela
2. Dojava primljena nadnevka:-----2016. god. u 10 sati i 30 min.
3. Kratki sadržaj primljene dojave za intervenciju: Gori vozilo na 1200 metar u tunelu gledano iz smjera Zagreb- Split
4. Ima li ugroženih osoba ili druga napomena važna za intervenciju: Nepoznato
5. Mjesto intervencije: ugibalište br.3
6. Dojavio: COKP Mala Kapela
7. Dojava provjerena: Telefon broj.
8. Uzbuna izvršena: 15.02.2016. god. u 10 sati i 30 min.
9. Vrsta i broj vozila te vrijeme izlaska na intervenciju:

**vrsta i broj vozila vrijeme izlaska vrijeme povratka**

9.1. Mala kapela 1. U \_\_\_ sati i \_\_\_ min. \_\_\_ god. U \_\_\_ sati i \_\_\_ min

**vrsta i broj vozila vrijeme izlaska vrijeme povratka**

9.2. Mala kapela 2. U \_\_\_ sati i \_\_\_ min. \_\_\_ god. U \_\_\_ sati i \_\_\_ min

**vrsta i broj vozila vrijeme izlaska vrijeme povratka**

9.3. Mala kapela 3. U 10sati i 31 min. U 11sati i 14 min

**vrsta i broj vozila vrijeme izlaska vrijeme povratka**

10. Vrijeme traženja pomoći ili prvog izvješća s mjesta intervencije: u \_\_\_ sati i \_\_\_ min.

11. Vrijeme završetka intervencije: -----2016.g. u 11sati i 14 min.

12. Oštećeni, ime, prezime i naziv pravne osobe i adresa: Hrvatske autoceste i naplata cestarine i održavanje, Širolina 4, Zagreb 10 000.

13. Posljedice:

broj mrtvih: \_\_\_\_\_.

broj ozlijeđenih: \_\_\_\_\_.

opožarena površina: 35 m<sup>2</sup>

14. Obaviješteni:

1. COKP Mala Kapela
2. Zapovjednik Postaje

Voditelj smjene:  
xxxxxxxxxx

## 7. ZAKLJUČCI

Glavni ciljevi implementacije novijih tehnologija su povećanje sigurnost, učinkovitost i zaštite. Isto tako informacijske i komunikacijske tehnologije kao što su videonadzor, videodetekcija, sustav daljinskog upravljanja te prometni informacijski sustavi imaju veliku ulogu u upravljanju prometom na autocestama, a sve se sa ciljem preventivnog djelovanja i kontrole prometa.

Zadatak takvih sustava je pravodobna informiranost korisnika i službi održavanja tunela o stanju u prometu, a sve to kako bi se omogućilo što sigurnije odvijanje prometa. Svojom tehničkom opremom koju posjeduje omogućava visok stupanj sigurnosti i zaštite osoba, imovine i samog objekta tunela.

Automatizacija i informatizacija sustava te računalni programi postali su sastavni dio našeg života u svim aspektima tako da se njihovo korištenje i poznavanje njihove strukture podrazumijeva kao osnova za svakodnevni rad. Na tragu toga od krucijalne važnosti je prepoznati probleme koji trenutno prožima sve poslove, a tiče se njihove informatizacije kao i privikavanje ljudi unutar struke na činjenicu da im računala moraju biti jedan od važnijih alata preventivnog djelovanja.

Ovim završnim radom prikazane su preventivne mjere koje se poduzimaju i to od uvođenja novih tehnologija, automatizacije i informatizacije sustava u kojem je osmišljena, strukturirana i izrađena baza podataka te uneseni određeni podaci uz čiju su pomoć definirani zadaci. Većina zadataka su u potpunosti automatizirani što doprinosi brzini, preciznosti i točnosti u njihovom obavljanju, a sve sa ciljem preventivnog djelovanja.

Preventivne mjere kao što su izvedba tunela, ugradnja odgovarajućih građevinskih materijala, ograničenja za prijevoz opasnih tvari, upustva i obavijesti o stanju u tunelu, edukacija zaposlenika moguća su rješenja koja se nameće samo od sebe da bi se neželjene situacije mogli izbjeći ili svesti na najmanju moguću mjeru. Budući da je teško predvidjeti sve neželjene događaje vatrodajni sustavi sa stabilnim sustavom za gašenje, supresiju i kontrolu izgleda da preostaju kao jedino odgovarajuće rješenje u slučaju neželjene situacije.

## 8. LITERATURA

- [1] Grupa autora. (2010). *Priručnik za osposobljavanje vatrogasaca*. Zagreb: Hrvatska vatrogasna zajednica.
- [2] Grupa autora, (2006). *Priručnik za osposobljavanje vatrogasnih dočasnika i časnika*. Zagreb: Hrvatska vatrogasna zajednica.
- [3] Cerovac, V. (2001.). *Tehnika i sigurnost prometa*. Zagreb: 953-6790-53-X.
- [4] Čleković V., e. (2007.). *Baza cestovnih podataka u Hrvatskim autocestama*. (Svez. Gospodarsko interesno udruženje trgovačkih društava za održavanje cesta). (Brzović T, Ur.) Šibenik.
- [5] Divić, A. (1977). *Saobraćajna tehnika*. Zagreb.: Viša škola za cestovni saobraćaj.
- [6] Jurjević A., e. (2007.). *Održavanje cesta u drugim zakonima* (2007 May 27-29; izd., Svez. Gospodarsko interesno udruženje trgovačkih društava za održavanje cesta Hrvatski cestar;). (T. Brzović., Ur.) Šibenik, Hrvatska: ISBN 978-953-55880-0-9.
- [7] Pačelat, R. (2003). Istraživanje uzroka požara.
- [8] Pavelić, Đ. (2012). Zaštita u prometu i transportu.
- [9] Peruško, S. (2010). Uzroci požara vozila. (P. i. sigurnost, Ur.) *Požar vozila -- Samozapaljenje vozila*, str. 1 ; str. 107-114.
- [10] Rotim, F. (1990.). *Elementi sigurnosti cestovnog prometa* (Svez. Udžbenici Fakulteta prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu). Zagreb: 86-81503-01-2.
- [11] Todorovski, Đ. (2012). *Predavanja iz kolegija Sustav vatrodjave i gašenje.*, Karlovac: Veleučilište u Karlovcu.
- [12] Zuber, N. (2003). Brzina vožnje i prometne nesreće. *Suvremeni promet*, 23 , str. 148-155.

### Web stranice

- [13] D.o.o., A. (n.d.). *Protupožarni i sigurnosni sustavi*. (Aling, Ur.) Preuzeto 07. 03 2016 iz Sustav za gašenje požara: <http://www.tehnomobil.ba/katalozi/Vatra.pdf>
- [14] D.o.o., H. a. (n.d.). *Hrvatske autoceste*. Preuzeto 07. 03 2016 iz HAC / Hrvatske autoceste: <http://hac.hr/>
- [15] D.o.o., H. c. (n.d.). *Hrvatske ceste*. Preuzeto 07. 03 2016 iz Društvo za upravljanje, građenje i održavanje državnih cesta: <http://www.hrvatske-ceste.hr/>

[16] HAK, H. a. (n.d.). *HAK*. Preuzeto 07. 03 2016 iz Hrvatski autoklub: <http://www.hak.hr/>

[17] HUKA. (n.d.). *HUKA Hrvatska udruga koncesionara autocesta s naplatom cestarine*. Preuzeto 07. 03 2016 iz <http://www.huka.hr/>

[18] M., L. (n.d.). *Prometna signalizacija*. (B. i. d.o.o, Ur.) Preuzeto 07. 03 2016 iz Sustavi vatrodjave u cestovnim tunelima: <http://www.prometna-signalizacija.com/informacijsko-komunikacijski-sustavi-u-prometu/sustavi-vatrodjave-u-cestovnim-tunelima/>

## 9. PRILOZI

### 9.1. Popis korištenih kratica

Kratice	Značenje kratica
HGV	Heavy Goods Vehicle - je bio tradicionalni naziv u Velikoj Britaniji za teretno vozilo ukupne mase > 3,5 t (noviji naziv LG Large Goods Vehicle). Uporaba ove kratice proširila se po cijelome svijetu (uključujući zemlje kontinentalne Europe), pa se s HGV danas često označavaju sva teretna vozila mase > 3,5 t. U daljnjem tekstu koristi se termin HGV, iako postoji velika razlika između kamiona ukupne mase 3,5 t i teškog kamiona-tegljača mase > 40 t.
COKP	Centar organizacije i kontrole prometa
TPS	Telefonski pozivni stupić
SOS	Niša za hitne pozive
CO	Ugljični monoksid
SDV	Sustav daljinskog vođenja
SDUN	Sustav daljinskog upravljanja i nadzora
TJO	Tehnička jedinica održavanja
TS	Transformatorska stanica
SN	Srednjeg napona
NN	Niskonaponski
UPS	Rezervni izvor napajanja
VDC	Vatrodajavna centrala
DUZS	Državna uprava za zaštitu i spašavanje
HAK	Hrvatske autoceste
CAFS	Compressed air foam system - sustav komprimiranog zraka i pjena
VCR	Analogni format snimanja
HD	High-definition video je video od veće razlučivosti i kvalitete od standardne rezolucije
ONC	Održavanje i naplata cestarine
HAC	Hrvatske autoceste

## 9.2. Popis slika

Sl. 1. Tunel .....	4
Sl.2. Požar i eksplozija u tunelu .....	7
Sl. 3.Trendovi u teretnom prometu (tone-kilometri), Zap. Europa, 1970=100 .....	9
Sl. 4. Prikaz dionice autoceste A-1 na kojoj je smješten Tunel Mala Kapela .....	10
Sl.5. Obuka u simulatoru plamenih udara .....	14
Sl.6. Procjena rizika za opasnosti kojima su izloženi vatrogasci .....	15
Sl.7. Razvoj požara u zatvorenom prostoru .....	16
Sl. 8. Razvoj požara u cestovnom tunelu .....	17
Sl.9. Kretanje dima suprotno smjeru strujanja zraka u tunelu .....	18
Sl. 10. Dojavni centar Tunel Mala Kapela .....	20
Sl. 11. Shema prometne signalizacije u Tunelu Mala Kapela .....	21
Sl. 12. Rasvjeta u Tunelu Mala Kapela .....	22
Sl. 13. Ventilatorska baterija u Tunelu mala Kapela .....	26
Sl. 14. Uređaj za mjerenje CO i vidljivosti .....	30
Sl. 15. Uljna transformatorska stanica .....	32
Sl. 16. Načelna shema vatrodojave u Tunelu Mala Kapela .....	35
Sl. 17. SOS niša .....	38
Sl. 18. Telefonsko pozivni stupić.....	38
Sl. 19. Video zid u COKP-a Tunela Mala Kapela .....	39
Sl. 20. Fiksna video kamera .....	40
Sl. 21. Dogašivanje vozila izgorjelog u tunelu .....	50
Sl.22. Shema razmještaja vozila na intervenciji .....	51
Sl.23. Legenda vatrogasnih simbola .....	52

## 9.3. Popis tablica

Tab.1. Uzroci i posljedice nesreća u tunelima .....	8
Tab. 2. Prikaz značajki povratnog strujanja dima (backlayering učinak) .....	18
Tab. 3. Vrijeme (min:s) prije alarma u pokusnim požarima s alkoholom (Alc) .....	46