

REPUBLIKA SRBIJA
PROJEKAT REHABILITACIJE TRANSPORTA

**PRIRUČNIK ZA PROJEKTOVANJE
PUTEVA U REPUBLICI SRBIJI**

11. PROJEKTOVANJE TUNELA

11.5 OPREMA TUNELA

BEOGRAD, 2012.

Izdavač: Javno preduzeće Putevi Srbije, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd

Izdanja:

Br.	Datum	Opis izmena i dopuna
1	30.04.2012.	Prvo izdanje

SADRŽAJ

11.5.1	UVODNI DEO	1
11.5.1.1	PREDMET PRIRUČNIKA	1
11.5.1.2	REFERENTNI NORMATIVI	1
11.5.1.3	TERMINOLOGIJA.....	2
11.5.1.4	UPOTREBLJENE SKRAĆENICE	3
11.5.2	SNABDEVANJE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM	3
11.5.2.1	GLAVNO NAPAJANJE TUNELA	3
11.5.2.2	NAPAJANJE U SLUČAJU NUŽDE.....	3
11.5.2.3	NEPREKIDNO NAPAJANJE TUNELA	3
11.5.3	OSVETLJENJE	3
11.5.3.1	ZONE U TUNELU	4
11.5.3.1.1	Prilazna zona	4
11.5.3.1.2	Zona praga.....	4
11.5.3.1.3	Tranzitna zona.....	4
11.5.3.1.4	Unutrašnja zona	4
11.5.3.1.5	Izlazna zona	5
11.5.3.2	NIVOI SJAJNOSTI POJEDINIH ZONA	5
11.5.3.2.1	Nivo sjajnosti prilazne zone	5
11.5.3.2.2	Određivanje nivoa sjajnosti prilazne zone (L_{20})	5
11.5.3.2.3	Nivo sjajnosti zone praga	5
11.5.3.2.4	Nivo sjajnosti prelazne zone	6
11.5.3.2.5	Nivo sjajnosti unutrašnje zone	6
11.5.3.2.6	Osvetljenje izlazne zone	6
11.5.3.3	SISTEMI OSVETLJENJA TUNELA.....	7
11.5.3.3.1	Vidljivost i detekcija kontrasta	7
11.5.3.3.2	Izbor sistema osvetljenja tunela	7
11.5.3.3.3	Ravnomernost sjajnosti u tunelu	7
11.5.3.3.4	Ograničenje blještanja u tunelu	7
11.5.3.3.5	Fenomen treperenja	8
11.5.3.3.6	Osvetljenje tunela u noćnim satima	8
11.5.3.3.7	Vizuelno (optičko) vođenje	8
11.5.3.3.8	Arhitektonske i građevinske mere za smanjenje nivoa sjajnosti prilazne zone i povećanje nivoa sjajnosti zone praga	8
11.5.3.3.9	Uticaj dužine tunela na njegovo osvetljenje u dnevnim uslovima.....	8
11.5.3.3.10	Fotometrijski proračuni pojedinih zona tunela	9
11.5.3.4	SVETILJKE	9
11.5.3.5	SIGURNOSNO OSVETLJENJE	9
11.5.3.6	REGULACIJA SVETLOSNOG FLUKSA	9
11.5.3.7	OSTALI SISTEMI RASVETE	10
11.5.3.7.1	Osvetljenje u zonama zaustavljanja	10
11.5.3.7.2	Označavanje puteva za evakuaciju.....	10
11.5.3.7.3	LED usmerivači	10
11.5.3.7.4	Regulacija ostalih sistema rasvete.....	10
11.5.3.8	MEHANIČKA KONSTRUKCIJA RASVETNIH TELA.....	10
11.5.4	VENTILACIJA	10
11.5.4.1	MINIMALNI KRITERIJUMI ZA PLANIRANJE VENTILACIJE.....	13
11.5.4.2	KONTROLA KVALITETA I STRUJANJA VAZDUHA U TUNELIMA.....	13
11.5.5	PROTIVPOŽARNA BEZBEDNOST	14
11.5.5.1	OSNOVNI ZAHTEVI	14
11.5.5.2	VATRODOJAVNI SISTEMI	14
11.5.5.3	HIDRANTNA MREŽA	14

11.5.5.4	PRENOSIVI RUČNI APARATI ZA GAŠENJE POŽARA	14
11.5.6	OSTALI SISTEMI ELEKTRO MAŠINSKE OPREME U TUNELU	14
11.5.6.1	SISTEM ZA POZIV U SLUČAJU NUŽDE.....	14
11.5.6.2	VIDEO NADZOR (CCTV- TELEVIZIJA ZATVORENOG KRUGA)	16
11.5.6.3	AUTOMATSKA DETEKCIJA VANREDNIH DOGAĐAJA	16
11.5.6.4	TUNELSKI RADIO UREĐAJI.....	16
11.5.6.5	SISTEM RAZGLASA	16
11.5.6.6	SAOBRAĆAJNI ZNAKOVI I SIGNALI.....	16
11.5.6.7	TRANSPORT OPASNIH MATERIJAMA.....	16
11.5.6.8	RASTOJANJE MEĐU VOZILIMA	16
11.5.6.9	VISINSKA KONTROLA.....	16
11.5.7	UPRAVLJANJE TUNELOM	17
11.5.7.1	OSNOVNI ZAHTEVI	17
11.5.7.2	UPRAVLJANJE U VANDREDNIM OKOLNOSTIMA	17
11.5.7.3	FUNKCIJE SISTEMA UPRAVLJANJA TUNELOM	17
11.5.7.4	PODACI PRIKUPLJENI MERENJIMA.....	17
11.5.7.5	UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM UNUTAR TUNELA	18
11.5.8	POSTROJENJA ZA BEZBEDNOST TUNELA.....	18
11.5.8.1	IZLAZI I PUTEVI ZA SLUČAJ NUŽDE	18
11.5.9	VEK TRAJANJA PROJEKTOVANE OPREME I KVALITET	18

11.5.1 UVODNI DEO

Bezbednost u tunelima nalaže preduzimanje niza mera koje se između ostalog odnose na geometriju tunela i njihove projektne koncepte, bezbednosnu opremu, uključujući saobraćajne znakove, upravljanje saobraćaja, osposobljavanje službi za reagovanje u slučaju vanrednih događaja, upravljanje incidentima, obezbeđivanje informacija za korisnike o najpogodnijim mogućim postupcima u tunelima, kao i na bolju komunikaciju odgovornih organa i službi za preduzimanje mera u slučaju vanrednih događaja, kao što su policija, vatrogasci i spasilačke ekipe.

Mere bezbednosti ljudima umešanim u nesreće trebalo bi da omoguće da se spase, a korisnicima puteva da trenutno preduzimaju mere radi sprečavanja težih posledica, kao i da pružaju mogućnost da odgovarajuće službe u slučaju vanrednih događaja mogu efikasno da deluju i da se zaštiti životna sredina i ograniči materijalna šteta.

Unapređenjima koja donosi ovaj priručnik poboljšaću se bezbednosni uslovi za sve korisnike, uključujući invalide. Pošto invalidi u slučaju vanrednog događaja teže mogu da se spasu, njihovoj bezbednosti potrebno je nameniti posebnu pažnju.

Radi uspostavljanja uravnoteženog pristupa i zbog visokih troškova preduzimanja mera neophodno je da se opredeli minimum bezbednosne opreme uzimajući u obzir vrste tunela i očekivani obim saobraćaja kroz određeni tunel.

Za održavanje visokog nivoa bezbednosti neophodno je odgovarajuće održavanje bezbednosnih sredstava u tunelu. Potrebno je sistematski organizovati razmenu informacija o savremenim bezbednosnim tehnikama, o nesrećama/incidentima između država. Za električnu i mašinsku opremu koja se ugrađuje u tunele karakterističan je veoma brz razvoj novih tehnologija i time uslovljena nadogradnja sistema.

11.5.1.1 Predmet priručnika

Ovaj priručnik za projektovanje je napravljen kako bi omogućili uniformnu osnovicu za projektovanje putnih tunela u Republici Srbiji.

Priručnikom se određuju tehnički zahtevi, uslovi i normativi usaglašeni sa Direktivom Evropskog parlamenta i Savetom 2004/54/ES od 29. aprila 2004. o minimalnim bezbednosnim zahtevima za tunele u sveevropskoj putnoj mreži koje treba poštovati kod projektovanja tunela na putevima. Priručnik u svim poglavljima poštuje najnovije stanje propisa u komparativnim državama i sadrži pregled i upoređivanje datih kriterijuma sa vrednostima iz austrijskih RVS i nemačkih RABT smernica.

U priručniku za projektovanje poštuju se standardi propisane bezbednosti u tunelima, prema evropskoj uredbi i najnoviji stručni kriterijumi i rezultati rada međunarodnih udruženja za obezbeđivanje saobraćajne bezbednosti i zaštite od požara u tunelima i razmatraju konstrukcijske karakteristike i oprema tunela, kao što su: broj cevi i smernih kolovoza, geometrija tunela, izlaz u nuždi, pristup interventne službe, zaustavne niše, odvođenje tekućina, protivpožarna oprema, ventilacija, komunikacioni sistemi i slično, kako bi se obezbedila odgovarajuća sigurnost u toku izgradnje kao i prilikom eksploatacije i održavanja.

U opremu tunela, bezbednosnih uređaja i sistem upravljanja tunela spadaju:

- sistem snabdevanja električnom energijom,
- osvetljenje tunela,
- ventilacija tunela,
- bezbednosni objekti u tunelu,
- sistem sos poziva,
- video nadzor,
- sistem automatskog registrovanja vanrednih događaja,
- radio uređaji tunela,
- sistem razglasa,
- oprema, uređaji i sredstva za zaštitu od požara,
- sistem upravljanja saobraćajem,
- sistem, odnosno mreža za slanje podataka,
- sistem upravljanja tunelima,
- ostali sistemi koji će se razvojem tehnologije afirmisati u cilju povećavanja bezbednosti saobraćaja u tunelima.

11.5.1.2 Referentni normativi

- Evropska Direktiva o minimalnoj bezbednosti u putnim tunelima (ES 54/2004).

Propisi kojima se uređuje oblast projektovanja i izgradnje tunela u Austriji Projektierungsrichtlinien ..:

- RVS 09.02.30 (9.26) Uređaji za ventilaciju (Lüftungsanlagen).
- RVS 09.02.31 (9.261) Osnove (Grundlagen)
- RVS 09.02.32 (9.262) Proračun potrebne količine vazduha (Luftbedarfsberechnung)
- RVS 9.263 (09.02.33) Emisije – opterećenja na portalima (Immissionbelastung an Portalen)
- RVS 09.02.41 (9.27) Osvetljenje (Beleuchtung).
- RVS 09.02.22 (9.282) Oprema tunela (Tunnelausrüstung).
- RVS 09.02.61 (9.286) Uređaji za radio komunikaciju (Funkeinrichtungen).
- RVS 09.04.11 (9.4) Održavanje i korišćenje (Erhaltung und Betrieb).
- Smernice kojima se uređuje područje opremanja i korišćenja tunela u Nemačkoj (Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln-RABT).
- Najnovija uputstva PIARC (Permanent International Association of Road Construction).
- SRPS EN CR 14380 Primena osvetljenja – Osvetljenje tunela

- SRPS EN 60598
- SRPS EN ISO 9227
- CIE 193: 2010 Emergency Lighting in Road Tunnels
- CIE 88 2nd edition 2010: Guide for the lighting of road tunnels and underpasses
- EN 1706 AC 44300
- EN 1706 AC 47100
- EN 755-2
- EN 573-3
- EN 10088-3

Smernice RVS, kao i RABT, redovno se ažuriraju u skladu sa najnovijim istraživanjima u oblasti bezbednosti saobraćaja u tunelima, sa posebnim osvrtom na protivpožarnu zaštitu.

Prilikom izrade projektne dokumentacije za tunele treba da se poštuju najnovija izdanja kod upotrebe navedenih izmena.

Napomena; u slučaju sukoba zahteva treba poštovati najnoviji zahtev, odnosno izrađuje se finansijsko i funkcionalno poređenje koje služi naručiocu odnosno predstavniku za donošenje odluke.

11.5.1.3 Terminologija

Pojam	Opis pojma
Uređaj za neprekidno napajanje – UPS	Uređaj, koji omogućava neprekidno napajanje potrošača električnom energijom
Automatska detekcija vanrednih događaja	Sistem mašinske i programske opreme koji automatski otkriva vanredne događaje (vožnja u suprotnom smeru, zaustavljeno vozilo, detekcija izgubljenog tereta na voznoj traci, detekcija dima)
Automatska detekcija opasnog tereta u saobraćaju (ADR)	Sistem prepoznavanja narandžastih tablica, koje nose oznake stepena ugroženosti (gornji dvocifreni broj) putnih tunela i donji broj (četvorocifreni) koji tačno određuje materiju koja se prevozi
RAID (sistem diskova)	Standard povezivanja dvaju ili više tvrdih diskova i upravljanja njima, koji je nastao sa namenom, da više manjih i sporijih diskova povežu u veći, brži i/ili sigurniji logički sklop
Visinska kontrola	Mehanički ili elektronski sistem (moguća i kombinacija), koji onemogućava visokim vozilima - nepravilno natovarenim da se zaletu u opremu montiranu u tunelu
Koncentracija CO (ppm)	Koncentracija - ppm označava zapreminsku koncentraciju štetnog gasa u vazduhu, izraženu u cm^3/m^3 u jednom času

11.5.1.4 Upotrebljene skraćenice

Skraćenica	Opis skraćenice
AID	Sistem video detekcije (Automatic Incident Detection)
LED	Dioda koja emituje svetlost (Light-Emitting Diode)
LCD	Ekran od tečnih kristala (Liquid-Crystal Display)
RAID	Skraćenica od (Redundant Array of Inexpensive Disks)
PIARC	Skraćenica od Permanent International Association of Road Constructors
UPS	Skraćenica od Uninterrupted Power Supply - uređaj za neprekidno napajanje
RABT	Skraćenica od Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln
RVS	Skraćenica od Richtlinien und Vortschriften für das Straßenwesen
ADR	Automatska detekcija opasnog tereta u saobraćaju – skraćenica od European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road
CMS	Skraćenica od Control Management System
TMC	Skraćenica od Tunnel Management Center

11.5.2 SNABDEVANJE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

11.5.2.1 Glavno napajanje tunela

Napajanje tunela treba da bude planirano ekonomično. Dugi tuneli (duži od 900 m) ili sistem nekoliko tunela će da se napaja kroz dva nezavisna izvora, od kojih je svaki u mogućnosti da napaja celi sistem tunela. Jedan izvor će biti dovoljan za kraće tunele (kraće od 600m).

11.5.2.2 Napajanje u slučaju nužde

Svaki tunel mora da ima mogućnost priključenja na mobilni ili stacionarni dizel agregat. Snaga dizel agregata mora da bude bar tolika da se omogući rad potrošača koji su priključeni na sistem neprekidnog napajanja (UPS).

U slučaju ispada mrežnog napona, dovezi se mobilni agregat i priključi na projektovano mesto. Ako je projektovan stacionarni dizel

agregat onda se on automatski uključi prilikom prekida napajanja iz mreže.

11.5.2.3 Neprekidno napajanje tunela

U slučajevima kvarova napajanja, sistem za neprekidno napajanje (UPS) će da spreči pojavu zamračenja ili prekida u kontroli tunela. UPS se sastoji od usmerivača, pretvarača i akumulatorske baterije, a treba da omogući rad komandnog centra, sistema kontrole upravljanja i bezbednosnih uređaja tunela na barem jedan čas sve vreme trajanja akumulatora (10 godina). UPS treba da bude implementiran u svim centralama za napajanje / energetske stanicama tunela.

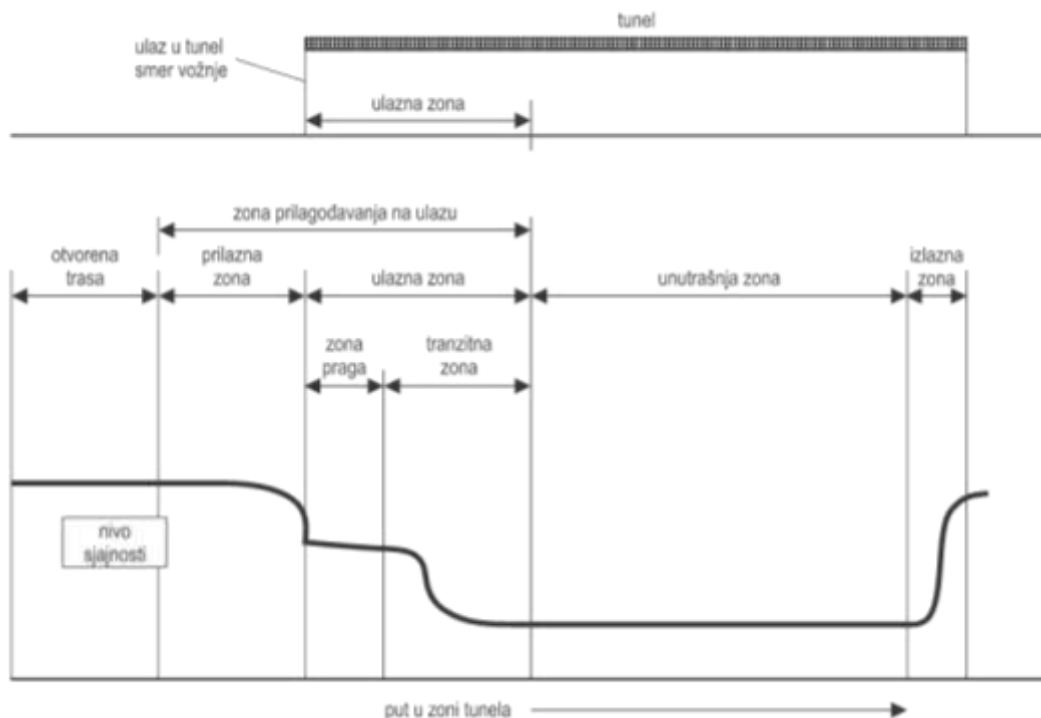
11.5.3 OSVETLJENJE

Osvetljavanje tunela se izvodi prema projektu koji mora da bude izrađen za svaki tunel posebno.

Tunelsko osvetljenje mora da se planira prema sektorima uzduž tunela tako da je prikladno za prilagođavanje očiju vozača na promene u intenzitetu svetla od dnevnoga

svetla na ulazu u tunel, do tame u unutrašnjosti tunela (sl. 11.5.1). Za tunele sa dvosmernim saobraćajem potrebno je u obzir uzeti prelaze u intenzitetu svetlosti – ulaz u tunel – na oba portala. Za svaki pojedinačni tunel potrebno je izračunati potrebnu osvetljenost u skladu sa preporukama CIE (Međunarodna komisija za rasvetlu).

S obzirom da uslovi koji se tiču svetla u tunelu značajno utiču na osvetljenje, a posledično i na potrošnju električne energije, zidovi tunela se uglavnom boje svetlom bojom (RAL 9001) do 4 m visine.



Slika. 11.5.1: Shematski prikaz nivoa sjajnosti za vreme vožnje tunelom za jednosmerni saobraćaj tokom dana

11.5.3.1 Zone u tunelu

Zbog različitih vidnih zahteva u pojedinim delovima tunela, on se deli na karakteristične zone, kojima se pridružuje i deo saobraćajnice neposredno ispred ulaza u tunel, koji je predstavljen jedinstvenom prilaznom zonom.

11.5.3.1.1 Prilazna zona

Prilazna zona tunela je deo saobraćajnice neposredno ispred ulaza u tunel, sa čijeg je početka (koji je od ulaza u tunel udaljen za dužinu jednaku zaustavnom putu vozila) potrebno uočiti eventualne prepreke u tunelu.

11.5.3.1.2 Zona praga

Zona praga je najkritičnija s obzirom na nivo sjajnosti, jer zahteva najveći njen nivo tako da se spreče pojave senki i efekata crne rupe

kod vozača koji prilazi tunelu. Dužina zone praga je najmanje jednaka dužini zaustavnog puta vozila, definisanog pre svega brzinom vozila i kvalitetom putnog pokrivača.

11.5.3.1.3 Tranzitna zona

Na zonu praga se nadovezuje tranzitna (prelazna) zona. U prelaznoj zoni nivo sjajnosti postepeno se smanjuje između zone praga i unutrašnje zone, bez opasnosti da vidni uslovi postanu nedovoljni.

11.5.3.1.4 Unutrašnja zona

U tunelima sa jednosmernim saobraćajem, unutrašnjost je deo puta između tranzitne zone i izlazne zone, deo područja u kojem vid vozača adaptiran na najmanji nivo sjajnosti u tunelu, koji je konstantan do samog izlaza iz tunela.

11.5.3.1.5 Izlazna zona

Izlazna zona ima zadatak da izvrši adaptaciju očiju vozača pri izlasku iz tunela. U području izlaza iz tunela preporučuje se pojačan nivo sjajnosti u slučajevima kada je tunel u zoni izlaza pozicioniran direktno prema sunčevoj svetlosti, što može da rezultira uslovima teške vidljivosti.

11.5.3.2 Nivoi sjajnosti pojedinih zona

Osvetljenje tunela u dnevnim uslovima karakterišu različiti nivoi sjajnosti koji odgovaraju napred definisanim zonama. Pri tome se nivo sjajnosti u ulaznoj zoni odnosi na dnevnu svetlost.

11.5.3.2.1 Nivo sjajnosti prilazne zone

Kada se vozač približava tunelu, u jednom trenutku se nađe u tački od koje tamni otvor ulaza tunela postaje rastući deo njegovog vidnog polja. Ta tačka se naziva adaptacije. Od trenutka kada dođe u tu tačku, stanje adaptacije vozača vrlo malo zavisi od trenutne raspodele sjajnosti u njegovom vidnom polju. Njega su praktično odredile sjajnosti koje je uočavao neposredno pre stizanja u tačku adaptacije. Dakle, za stanje

adaptacije očiju vozača neposredno pred ulazak u tunel odlučujuće su te sjajnosti, odnosno njihova srednja vrednost, koja se naziva nivo sjajnosti prilazne zone (L_{20}).

11.5.3.2.2 Određivanje nivoa sjajnosti prilazne zone (L_{20})

Na osnovi istraživanja došli smo do empirijske formule za izračunavanje nivoja sjajnosti prilazne zone koja glasi:

$$L_{20} = \gamma L_n + \rho L_k + \epsilon L_o$$

γ , ρ i ϵ su redom udeli neba, kolovoza i njegove okoline u vidnom položaju vozača u prilaznoj zoni, a L_n , L_k i L_o su redom njihove sjajnosti. Vrednosti parametra γ , ρ i ϵ se praktično određuju sa fotografije snimljene iz tačke položaja očiju vozača udaljenog od ulaza u tunel za dužinu zaustavnog puta, pri čemu se kamera postavlja horizontalno i usmerava prema centru ulaza u tunel. Ukoliko se ne raspolaže vrednostima sjajnosti L_n , L_k i L_o , dobijenim merenjem na licu mesta, one se mogu dobiti iz iz tabele 11.5.1. Napomenimo da su vrednosti sjajnosti prilazne zone između 2.500 cd/m^2 i 6.000 cd/m^2 .

Tabela 11.5.1: Vrednost sjajnosti L_n , L_k i L_o (u kcd/m^2)

Smer vožnje (severna hemisfera)	L_n	L_k	L_o			
			stene	zgrade	sneg	Livade
S (sever)	8	3	3	8	15(V) 10(H)	2
I – Z (isto kili zapad)	12	4	2	6	10(V) 15(H)	2
J (jug)	16	5	1	4	5(V) 15(H)	2

(V) – planinsko tle, sa uglavnom strmim površinama koji okružuju vozača
(H) – ravno, manje-više horizontalno tle

11.5.3.2.3 Nivo sjajnosti zone praga

Kada se vozač u dnevnim uslovima približava ulazu u tunel, njegove oči su adaptirane na visok nivo sjajnosti u prilaznoj zoni. Vozaču se čini kao da nailazi na „crnu rupu“, u kojoj ništa ne prepoznaje. Taj efekat se rešava tako da se nivo sjajnosti u prilaznoj zoni i zoni praga srazmerno približi i stvore uslovi za adaptaciju očiju vozača. CIE preporuke su

ponudile da odnos ovih sjajnosti ima vrednost 10, ali su praksa i ekonomski razlozi doveli do njegove korekcije, zadržavajući princip da je nivo sjajnosti zone praga (L_{th}) linearno srazmeran sa nivoom sjajnosti prilazne zone (L_{20}).

Nivo sjajnosti zone praga se može odrediti pomoću formule

$$L_{th} = k \times L_{20}$$

U kojoj je koeficijent k funkcija dužine zaustavnog puta vozila i primenjenog sistema

osvetljenja (vidi tabelu 11.5.2 preuzetu iz CIE preporuka).

Tabela 11.5.2 Vrednost koeficijenta k

Zaustavno rastojanje (m)	Simetrični sistem osvetljenja Lth/L ₂₀	Kontra – fluks sistem osvetljenja Lth/L ₂₀
60	0,05	0,04
100	0,06	0,05
160	0,10	0,07

11.5.3.2.4 Nivo sjajnosti prelazne zone

U prelaznoj (tranzitnoj) zoni se nastavlja proces adaptacije očiju vozača, kao posledica postepenog opadanja nivoa sjajnosti, i to od nivoa sjajnosti zone praga do nivoa sjajnosti unutrašnje zone. Smanjenje nivoa sjajnosti u tranzitnoj zoni može se prikazati formulom

$$Ltr = Lth (1.9 + t)^{-1.4}$$

U kojoj je Ltr minimalna dozvoljena sjajnost u delu tranzitne zone u koji vozač dospeva posle vremena t (u sec) provedenog u ovoj zoni. Iz formule se vidi da je za t = 0 vrednost Ltr = 0,4 Lth.

11.5.3.2.5 Nivo sjajnosti unutrašnje zone

U dugim tunelima, posle tranzitne zone sledi deo sa najnižim i konstantnim nivoem sjajnosti. U tom delu tunela, koji se naziva unutrašnja zona, obično se postiže potpuna adaptacija očiju vozača (izuzimaju se veoma dugi tuneli), pa je nivo sjajnosti u ovoj zoni znatno veći od onih koji su uobičajeni za obične saobraćajnice. Nivo sjajnosti u unutrašnjoj zoni tunela zavisi od dužine zaustavnog rastojanja (brzine vožnje) i gustine saobraćaja. U tabeli 11.5.3 preuzetoj iz CIE preporuka, date su vrednosti nivoa sjajnosti unutrašnje zone tunela u funkciji dužine, zaustavnog puta i gustine saobraćaja.

Tabela 11.5.3 preporučene vrednost sjajnosti unutrašnje zone (u cd/m²)

Zaustavni put vozila	Gustina saobraćaja		
	mala manje od 100 v/h	Srednja 100 v/h – 1000 v/h	Velika Više od 1000 v/h
160 m	5	10	15
100 m	2	4	6
60 m	1	2	3

11.5.3.2.6 Osvetljenje izlazne zone

Izlazeći iz tunela na dnevnu svetlost, vozači svoj vid prilagođavaju znatno brže i lakše

nego prilikom ulazka u tunel. Stoga povećanje sjajnosti u izlaznoj zoni tunela nije neophodno. Ipak postoje dva razloga zbog kojih se povećanje nivoa sjajnosti preporučuje. Prvi je da postoji potreba da se

jače osvetle manja vozila koje vozači iza njih zbog zaklanjanja od većih vozila ne mogu da prime, što se može dogoditi usled bleštanja koje dolazi od veoma svetlog izlaza iz tunela. Drugi razlog je da je vozačima koji izlaze iz tunela potrebno obezbediti zadovoljavajuću preglednost unazad (u ogledalu), a posebno kad je u pitanju dugačko vozilo.

Kada je u pitanju tunel za dvosmerni saobraćaj, izlaznu zonu po pravilu osvetljavamo na isti način kao ulaznu, jer ona tada predstavlja ulaz u tunel za vozila, koja dolaze iz suprotnog smera.

11.5.3.3 Sistemi osvetljenja tunela

11.5.3.3.1 Vidljivost i detekcija kontrasta

Prepreke u tunelu je moguće uočiti zahvaljujući kontrastu, odnosno razlici sjajnosti prepreke i njene pozadine. Ako je prepreka svetlija od kolovoza (pozadine), onda je kontrast C pozitivan. Obrnuto, ako je prepreka tamnija od pozadine, kontrast je negativan. To se vidi iz formule:

$$C = \frac{L_o - L_p}{L_p} = \frac{\rho * E_v - L_p}{L_p}$$

L_o i E_v – su sjajnost i vertikalna osvetljenost objekta,

ρ – je njegov srednji faktor refleksije a
 L_p – sjajnost pozadine.

U cilju ostvarenja dobre vidljivosti, absolutna vrednost kontrasta mora da dosegne potreban nivo. Eksperimenti su pokazali, da u zoni praga on mora da iznosi bar 20%, da bi se bez većih napora mogla izvršiti detekcija prepreke dok se prilazi tunelu.

11.5.3.3.2 Izbor sistema osvetljenja tunela

Na osnovu vrednosti L_p/E_v , tj. odnosa sjajnosti pozadine prepreke u tunelu i njene vertikalne osvetljenosti, možemo globalno razlikovati dva tipa sistema osvetljenja:

- Simetrični sistem osvetljenja i
- asimetrični sistem osvetljenja.

Cilj projektovanja osvetljenja je bezbednost u saobraćaju, postizanje optimalnog korišćenja energije i minimalnih troškova instalacije osvetljenja u tunelu.

Kod asimetričnog sistema osvetljenja (sistem kontrafluksa), koji temelji na pretežnom usmeravanju svetlosti prema ulazu u tunel, po pravilu je zadovoljen uslov $L_p/E_v \geq 0,6$.

Ova relacija je posledica činjenice da je vertikalna osvetljenost na prepreci u tunelu bitno smanjena.

Zahvaljujući činjenici da se kao prepreke najčešće javljaju tamni objekti, koje karakterišu niski faktori refleksije (reda 0,15), i zahvaljujući malim vrednostima vertikalne osvetljenosti E_v , upotrebom sistema kontra fluksa), može da se postigne da se potrebni kontrasti u zoni praga ostvare sa nižim nivoima sjajnosti od onih koji su neophodni u slučaju primene simetričnog sistema osvetljenja.

Nedostatak asimetrične rasvete je da postoji rizik da u zoni praga veća vozila zaklone manja koja dolaze neposredno iza njih i učine ih veoma loše vidljivim.

Na osnovu svega napred rečenog, može se zaključiti da izbor sistema osvetljenja predstavlja izbor između bezbednijeg (simetričnog) i racionalnijeg asimetričnog sistema osvetljenja.

U novije vreme upotrebljava se i kombinacija asimetričnog i simetričnog sistema osvetljenja tunela.

11.5.3.3.3 Ravnomernost sjajnosti u tunelu

Ravnomernost sjajnosti u tunelu je zadovoljavajuća ako je odnos minimalne i srednje sjajnosti na kolovozu bar 0,4. Pitanje ravnomernosti sjajnosti u tunelu podjednako je važno u dnevnim i noćnim uslovima.

Na ravnomernost sjajnosti kolovoza i zidova u tunelu bitno utiču:

- Izgled poprečnog profila tunela,
- izbor tipa izvora svetlosti,
- izbor tipa svetiljke,
- raspored svetiljki u tunelu.

11.5.3.3.4 Ograničenje blještanja u tunelu

Pošto su u instalaciji osvetljenja tunela svetiljke postavljene na znatno manjoj visini nego u klasičnom saobraćaju, one moraju biti više zasenjene, da ne bi prouzrokovale prekomerno blještanje.

U slučaju tunelskog osvetljenja, kontroliše se fiziološko blještanje. Fiziološko blještanje značajno smanjuje vidne performanse vozača, jer na njegovim očima prouzrokuje pojavu svetlosne zavese (koprene). Relativni porast praga ne bi smeo da bude veći od 15% ni u jednoj od zona tunela. On se izračunava primenom sledećih formula:

$$TI = 65 (Lv / Lsr^{0.8}) \text{ za } Lsr \leq 5 \text{ cd/m}^2$$

Odnosno

$$TI = 95 (Lv / Lsr^{0.8}) \text{ za } Lsr > 5 \text{ cd/m}^2$$

U kojima su:

Lsr – srednja sjajnost kolovoza i zidova tunela, koji predstavljaju pozadinu za eventualnu prepreku.

Lv – ekvivalentna zaslepljujuća sjajnost, koja potiče od svih svetilki u vidnom polju vozača (od horizontalnog nivoa do 20° iznad njega).

11.5.3.3.5 Fenomen treperenja

Kad su svetiljke u tunelu postavljene u isprekidanom nizu, u vidnom polju vozača se periodično javljaju svetla i tamna polja, koja proizvode „efekat treperenja“. Ovaj fenomen je prouzrokovan kako od svetlosti instaliranih svetiljki, kao i od svetlosti koja se odbija od sjajnih površina u okolini (prednji i zadnji delovi automobila i tome slično). Smetnje koje vozač oseća kao posledicu efekta treperenja zavise od frekvencije treperenja, definisane odnosom brzine vozila i rastojanja između susednjih svetiljki, tako i od dužine tunela, odnosno vremena izloženosti vozača ovom neprijatnom fenomenu. Ometajuće treperenje nastaje u obsegu frekvencija između 2,5 i 15 Hz. Efekat treperenja se praktično tretira samo za unutrašnju zonu tunela. Zona praga i tranzitna zona su u principu vrlo kratke, tako da se u njima ovaj uznemiravajući efekat praktično i ne pojavljuje.

Neprijatan i opasan efekat treperenja može da se ublaži svetlim zidovima ili upotrebom svetiljki manje sjajnosti. U praksi su rastojanja između centara susednih svetiljki sa fluo cevima manja od dvostruke dužine cevi smatraju sasvim prihvatljivim. Kod neprekidnog niza svetiljki (svetlosne trake) ne dolazi do pojave treperenja.

11.5.3.3.6 Osvetljenje tunela u noćnim satima

U noćnim satima je nivo sjajnosti u tunelu veći nego onaj izvan tunela, pa stoga mogu nastati teškoće u pogledu prilagođavanja. Problema sa prilagođavanjem neće biti ako se deo saobraćajnica neposredno po izlasku iz tunela, a na dužini ne manjoj od one koja odgovara vožnji u trajanju 5 s, osvetli tako da nivo sjajnosti kolovoza iznosi bar 1/3 nivoa sjajnosti izlazne zone. U noćnim uslovima treba isključiti dodatno osvetljenje, koje je instalirano za potrebe prilagođavanja očiju

vozača u dnevnim uslovima. Potrebno je da se na celoj dužini tunela, u svim njegovim zonama, ispune fotometrijski zahtevi jednaki onima koji su ispunjeni na prilaznom putu. Ako prilazni put nije osvetljen, tada nivo sjajnosti noću u tunelu treba da iznosi bar 1 cd/m², uz U_o ≥ 0,4 i u 1 ≥ 0,6.

11.5.3.3.7 Vizuelno (optičko) vođenje

Da bi se postiglo dobro vizuelno vođenje primenjuju se sledeće mere:

- održavanje čistoće površina zidova tunela,
- učiniti jasno uočljivim vertikalne ivice puta,
- horizontalna signalizacija mora biti čista i neoštećena,
- raspored svetiljki treba omogućiti vozaču da jasno i nedvosmisleno uočava pravac vožnje.

11.5.3.3.8 Arhitektonske i građevinske mere za smanjenje nivoa sjajnosti prilazne zone i povećanje nivoa sjajnosti zone praga

Mere za smanjenje nivoa sjajnosti prilazne zone su:

- izbegavanje (koliko je to moguće) orijentacije tunela pri kojoj ima veliki uticaj direktna sunčeva svetlost na sjajnost u prilaznoj zoni,
- okolinu ulaznog portala treba zasaditi, rastinjem i brzorastućim visokim drvećem,
- bočne betonske ivice treba obojiti u crno,
- površina kolovoza, najmanje 200 m pre ulaza u tunel, treba da bude što tamnija.

Mere za povećanje nivoa sjajnosti zone praga su:

- što svetlija površina kolovoza,
- zidovi tunela treba da budu obojeni svetlom bojom (npr. RAL 9001),
- ukoliko postoji mogućnost, treba projektovati predportale,
- asfaltna površina ili betonski kolovoz sa što većim koeficientom refleksije.

11.5.3.3.9 Uticaj dužine tunela na njegovo osvetljenje u dnevnim uslovima

Kod svih tunela se primenjuju osnovni principi osvetljenja dugih tunela. Kod projektovanja kraćih tunela, pored njihove dužine treba uzeti u obzir i druge faktore po CIE:

- da li je izlaz iz tunela potpuno vidljiv sa mesta koji je od ulaza u tunel udaljen za dužinu zaustavnog puta,
- prodor dnevne svetlosti dobar ili loš,

- faktor refleksije zidova visok ($> 0,4$) ili nizak ($< 0,2$),
- saobraćaj gust ili redak.

Na osnovu napred rečenog proizilazi:

- tuneli kraći od 25 m se ne osvetljavaju u dnevnim uslovima,
- tuneli duži od 125 m se projektuju sa normalnim nivoom sjajnosti zone praga,
- tuneli od 25 do 125 m dužine se osvetljavaju skladno sa gore rečenim.

11.5.3.3.10 Fotometrijski proračuni pojedinih zona tunela

Fotometrijski proračuni koji se sprovode prilikom projektovanja osvetljenja tunela prvenstveno se odnose na izračunavanje nivoa sjajnosti površine kolovoza i zidova tunela. Ove sjajnosti se izračunavaju za sve zone tunela.

Svi ovi proračuni se vrše isključivo primenom programskih paketa koje poseduju pojedini proizvođači svetiljki. Napomenimo da se obavezno vrši i provera snošljivosti fiziološkog bleštanja.

11.5.3.4 Svetiljke

Na izbor svetilki koje će se koristiti za osvetljenje konkretnog tunela odlučujuće utiču sledeći faktori:

- način postavljanja svetiljki u odnosu na presek tunela,
- raspored svetiljki duž tunela, i
- potrebne električne, fotometrijske i mehaničke osobine svetiljki.

Za dobro optičko vođenje najbolje je da se svetiljke postavljaju na tavanici tunela. U poslednje vreme se često primenjuje asimetrično postavljanje svetiljki, koje poseduju asimetričnu fotometrijsku karakteristiku. U takvim slučajevima su fotometrijski rezultati po pravilu odlični, a uslovi održavanja instalacije veoma povoljni.

Svetiljke instalirane u tunelu moraju biti otporne na agresivnu atmosferu koju stvaraju izduvni gasovi. Zbog toga se u tunelima koriste svetiljke koje imaju stepen mehaničke zaštite bar IP 65 i koje su zaštićene od korozivnih efekata.

11.5.3.5 Sigurnosno osvetljenje

Za tunele duže od 100 m neophodno je, kao pripadajući element instalacije predvideti sigurnosno osvetljenje. U slučaju ispada

mrežnog napona dolazi do nestanka osvetljenja u tunelu, što može da ugrozi bezbednost u saobraćaju (posebno danju). Sigurnosno osvetljenje se može izvesti na više načina:

- napajanjem instalacije osvetljenja pomoću dva međusobno odvojena energetska voda, (npr. dva transformatora sa odvojenim visokonaponskim napajanjem),
- napajanje dela instalacije iz dizel agregata, koji se posle ispada mrežnog napona avtomatski uključuje i to za vrlo kratko vreme,
- sistemom posebnog osvetljenja, izvedenog pomoću izvora svetlosti niskog napona, koji se postavljaju na visini 0,8 do 1,1 m i na razmaku do 25 m. Sistem se normalno napaja iz mreže, a kod ispada mrežnog napajanja napajanje preuzima pomoćni energetski izvor (dizel agregat ili akumulatorske baterije).

11.5.3.6 Regulacija svetlosnog fluksa

Napred je objašnjeno da kod dobro projektovane instalacije osvetljenja tunela, nivoi sjajnosti zone praga i tranzitne zone moraju sve vreme da budu u određenom, unapred zadatim odnosima prema nivou sjajnosti prilazne zone tunela. Nivo sjajnosti prilazne zone stalno se menja. Zbog toga je potrebno vršiti regulaciju svetlosnog fluksa svetiljki i na taj način podešavati nivoe sjajnosti u pojedinim zonama tunela.

Regulacija se može sprovesti na dva načina:

- kontrolom osvetljenosti u slobodnom prostoru,
- kontrolom sjajnosti u slobodnom prostoru.

Sa aspekta fotometrije je pogodnija kontrola sjajnosti u prilaznoj zoni. U tački koja je od ulaza u tunel udaljena za dužinu jednaku zaustavnom putu vozila postavlja se kamera, koja meri L20. Na osnovi promena sjajnosti u prilaznoj zoni kamera aktivira ili isključuje delove instalacije osvetljenja tunela. Za fotometrijsko merenje svetlosti može se postaviti luminansmetar i u unutrašnjoj zoni. On rezultate merenja prosleđuje mikroprocesoru, koji pomaže spoljašnjem luminansmetru. Kontrola se podešava sa vremenskim zakašnjenjima, tako da kratkotrajne promene ne dovode do aktiviranja regulacionog sistema. Unutrašnji luminansmetar kompenzuje uticaje zaprljanja svetiljki i smanjenja svetlosnog fluksa izvora u toku njihove eksploatacije.

11.5.3.7 Ostali sistemi rasvete

11.5.3.7.1 Osvetljenje u zonama zaustavljanja

Na području zaustavnih niša koriste se metalhalogene sijalice sa belom svetlošću. Nivo osvetljenosti je dvostruki nivo osvetljenosti unutrašnjeg područja.

11.5.3.7.2 Označavanje puteva za evakuaciju

Za označavanje puteva za evakuaciju u slučaju požara predviđeno je da se na zidovima tunela postave odgovarajuće oznake. Oznake sa unutrašnjim osvetljenjem moraju da budu postavljene na međusobnoj udaljenosti ne većoj od 50 m. Donja ivica svetiljke mora da bude na visini od 0,8 m do 1,1 m u odnosu na trotoar. Na sredini između dve oznake (svetilke za evakuaciju) predviđeno je da stoje fotoluminescentne table. Tako je pravac puta za evakuaciju označen na svakih 25 m.

11.5.3.7.3 LED usmerivači

Za povećanje vidnog vođenja predviđeno je da na trotoaru budu postavljene svetiljke sa LED diodama crvene ili bele boje u zavisnosti od smera saobraćaja. Tipična razdaljina između svetiljki je 25 m u unutrašnjoj zoni a 15 m u ulaznom odnosno izlaznom delu tunela.

11.5.3.7.4 Regulacija ostalih sistema rasvete

Pored regulacije osnovne i sigurnosne rasvete na tavanici tunela potrebno je upravljati i osvetljene oznake puta za evakuaciju i LED usmerivače na trotoarima.

11.5.3.8 Mehanička konstrukcija rasvetnih tela

Rasvetna tela treba da imaju jednako kućište za sve tri zone rasvete (ulaz, prelaz, unutrašnjost), ako je to moguće. Rasvetna tela moraju da budu smeštena iznad puta, paralelno sa područjem saobraćaja i tako da se njihovo servisiranje može izvršiti zatvaranjem samo jedne saobraćajne trake.

Sve naprave, instalacija i oprema moraju se finalno obraditi na odgovarajući način za predviđene uslove okoline i upotrebe.

Kućište rasvetnih tela treba da je otporno na atmosferske uslove unutar tunela i treba da ima najmanji stepen zaštite IP 65.

Nerđajući čelični lim i profili moraju da budu od legure Cr-Ni-Mo-Ti, kvalitet materijala br. 1.4571 po DIN 17440.

Nerđajući materijal za spajanje i ugrađivanje mora da bude od legure Cr-Ni-Mo kvaliteta materijala, br. 1.4401 po DIN 17440 ili iz epoksidnih materijala odgovarajuće mehaničke nosivosti koji u pogledu otpornosti na požar odgovaraju standardu DIN 4102.

Legura aluminijuma kao konstrukcioni materijal i mora da bude sastava Al.Mg-Si 05 po DIN 1725 sa čvrstoćom F25 i H14 po DIN 1748 za profile i Al.Mg₃ po DIN 1725 za aluminijumski lim.

Aluminijumska legura mora uvek da bude „peskarena“, kao što je u nastavku navedeno osim, ako nije isključivo drugačije navedeno.

Pocinkovani čelik se upotrebljava, ako je to isključivo određeno. Pocinkovani čelik se uvijek zaštićuje prevlakom od cinka po vrućem postupku.

11.5.4 VENTILACIJA

U projektovanju, izgradnji i radu ventilacionog sistema po tabeli 11.5.4 potrebno je da se uzmu u obzir:

- nadzor nad zagađivačima koje emituju drumska vozila u normalnom i povećanom protoku u tunelu,
- nadzor nad zagađivačima koje u tunelu emituju drumska vozila kada je saobraćaj zaustavljen zbog incidenta ili nesreće,
- nadzor nad vrućinom i dimom u slučaju požara.

U svim tunelima dužim od 500 m obimom saobraćaja većim od 5.000/24 sata vozila po traci, namešta se mehanički sistem provetravanja, odnosno ventilacije.

U tunelima sa dvosmernim saobraćajem sa obimom saobraćaja preko 2.000 vozila po traci, a koji su duži od 3.000 m i imaju nadzorni centar i poprečno i/ili polupoprečno provetravanje, u vezi sa provetravanjem preduzimaju se sledeće minimalne mere:

nameštanje poklopaca za odvođenje vazduha i dima kojima se može upravljati pojedinačno ili u grupama, uzdužna brzina vazduha stalno se menja i proces upravljanja ventilacionim sistemom (zaklopke, ventilatori itd.) odgovarajuće se prilagođava.

Ventilacija tunela mora da se dimenzioniše za sve tunele tako da se u tunelu obezbede propisani nivoi zagađenosti ugljen monoksidom (CO), azotnim monoksidom (NO), aldehidima i ostalim nezapaljivim hidrokarbonatima (CH), te zadovoljavajuća vidljivost.

Nekoliko faktora treba da bude uzeto u obzir kod računanja potrebnih količina za svež vazduh i kod odabira odgovarajućeg ventilacionog sistema u tunelima: vertikalni

plan tunela, broj cevi tunela i saobraćajnih traka u smeru vožnje, projektovana kompozicija protoka saobraćaja, računaska brzina i gustoća protoka saobraćaja, ali i nivo i dužina tunela.

Svi ti faktori utiču na koncentraciju štetnih supstanci u tunelu.

Tabela 11.5.4: Područja upotrebe različitih ventilacionih sistema

	Prosečni saobraćaj [traku / 24 h]	Dužina tunela [m]	Vrsta ventilacije
Jednosmerni saobraćaj	-	≤ 500	prirodna ventilacija
	< 5,000 sa malom gustinom saobraćaja	≤ 700	prirodna ventilacija
	≥ 5,000 to < 10,000 sa srednom gustinom saobraćaja	500 to ≤ 3,000	mehanička longitudinalna ventilacija
	≥5,000 sa velikom gustinom saobraćaja	500 to ≤ 1,500	mehanička longitudinalna ventilacija
	≥5,000 sa velikom gustinom saobraćaja	1,500 to ≤ 3,000	mehanička longitudinalna ventilacija preko šahtova (određenih tačkama < 750 m)
	-	> 3,000	Isisivanje preko rova uz obezbeđivanje otvora za odvod
Dvosmerni saobraćaj	-	≤ 500	prirodna ventilacija
	< 2,000	≤ 700	prirodna ventilacija
	< 5,000 sa malom gustinom saobraćaja	500 to 2,000	mehanička longitudinalna ventilacija
	< 5,000 sa srednom gustinom saobraćaja	500 to 1,500	mehanička longitudinalna ventilacija
	≥ 5,000	1,500 to 3,000	mehanička longitudinalna ventilacija sa isisivanjem na (određenih tačkama < 750 m)
	-	> 3,000	Isisivanje preko rova uz obezbeđivanje otvora za odvod

Odabrani ventilacioni sistem (longitudinalni, polutransverzalni, transverzalni ili kombinovani) u slučaju požara treba da omogućuje usmeravanje dima, vrućine i gasova. Treba da se koriste osnovni iznosi emisioh plinova (koji su navedeni u PIARC uputstvima), ako ne postoje pravila koja se tiču emisije plinova iz vozila i podaci o mjerenjima postojećih emisija.

Za projektovanje tunela, moraju da se koriste podaci o vrednostima emisije izduvnih gasova koji su navedeni u tabeli 11.5.5.

Tabela 11.5.5: Vrednosti emisije izduvnih gasova vozila koji služe za planiranje ventilacije tunela

Godina	2005		2010		2015		2020	
	CO $\frac{m^3}{h \times voz}$	Čestice $\frac{m^3}{h \times voz}$	CO $\frac{m^3}{h \times voz}$	Čestice $\frac{m^3}{h \times voz}$	CO $\frac{m^3}{h \times voz}$	Čestice $\frac{m^3}{h \times voz}$	CO $\frac{m^3}{h \times voz}$	Čestice $\frac{m^3}{h \times voz}$
Putnička vozila benzin	0.043	0	0.033	0	0.029	0	0.028	0
Putnička vozila dizel	0.010	13.9	0.009	9.53	0.009	7.30	0.008	6.49
Teretna vozila dizel	0.037	36.3	0.024	16.9	0.019	8.88	0.018	6.91

Tabela 11.5.6: Iznosi dozvoljenih koncentracija CO i vidljivosti za pojedina stanja u saobraćaju

Stanje u saobraćaju	Koncentracija CO ppm	Vidljivost m-1
Normalan saobraćaj (50 – 100 km/h)	70	0.005
Dnevno gusti saobraćaj sa mogućim saobraćajnim čepovima	70	0.007
Izuzetno gusti saobraćaj sa mogućim saobraćajnim čepovima	100	0.009
Radovi na održavanju tunela, uz smanjeni saobraćaj	20	0.003
Zaustavljanje saobraćaja u tunelu	200	0.012

* takođe se primjenjuje na tunele namenjene osim motornim vozilima, još i pešacima i biciklistima.

U svakom projektu moraju se vrednovati iznosi emisija s obzirom na godinu projektovanja, projektovanog obima saobraćaja, starosti vozila, količine pređenih kilometara, smještaj tunela i nivo savremenih tehnoloških dostignuća koja se tiču mašina i vozila.

Kriterijumi saobraćaja, koji se tiču dimenzionisanja ventilacionog sistema, uključuju koncentraciju CO, koncentraciju NO_x, smanjenje vidljivosti i brzinu protoka vazduha u normalnim uslovima rada i u slučaju požara. Udovoljavanjem zahtjevima koji se tiču količine CO, NO_x i čestica prašine (iz izduvnih gasova vozila i druge čestice prašine) treba da se udovolji i drugim standardnima emisija, npr. nezapaljivih CH.

Uređaji za merenje koncentracije ugljenmonoksida u tunelu postavljaju se na rastojanju od 100 do 1.000 m, zavisno od dužine tunela.

11.5.4.1 Minimalni kriterijumi za planiranje ventilacije

PIARC preporuke dozvoljavaju razne standarde kvaliteta vazduha u tunelima zavisno od stanja u saobraćaju. Ventilacioni sistem treba da bude dimenzionisan tako da mogu da se zadovolje sledeći kriterijumi u uslovima normalnog rada:

Normalan saobraćaj (brzina između 100 km/h i 50 km/h)

Granica koncentracije CO: $c = 100$ ppm
 Granica koncentracije NO_x: $n = 25$ ppm
 Koeficijent graničnog stanja smanjene vidljivosti: $k = 0,007$ m⁻¹

Dozvoljena koncentracija ugljen - monoksida u tunelu iznosi:

- Za tunele dužine do 1.000 m - 250 ppm,
- za tunele dužine preko 2.000 m - 200 ppm, gde ppm označava zapreminsku koncentraciju štetnog gasa u vazduhu, izraženu u cm³ / m³ u jednom času,
- za tunele dužine od 1.000 do 2.000 m dozvoljena koncentracija ugljenmonoksida dobija se linearnom interpolacijom.

Kod tunela između velikih gradova, kontrola saobraćaja i sistem upravljanja treba da u normalnim uslovima saobraćaja spreči saobraćajne čepove. U takvim tunelima brzina vozila uvek treba da bude veća od 30 km/h.

U slučaju bilo kakve promene treba da se primene najnovije primenljive PIARC preporuke.

11.5.4.2 Kontrola kvaliteta i strujanja vazduha u tunelima

Za svaki ventilacioni sektor u svakoj cevi tunela gde je instaliran mehanički ventilacioni sistem, treba da se planira sledeće: dva merna sistema - jedan za merenje CO i čestica prašine u vazduhu i drugi za merenje brzine i smera vazduha u tunelu.

Signali treba da se prenose jedinicama kontrole ventilacije, kontrole saobraćaja i komandnom centru.

U longitudinalnim ventilacionim sistemima brzina vazduha u normalnim uslovima funkcionisanja ne sme da bude veća od 8 m/s. U svaki ventilacioni odeljak treba da se postave merni uređaji radi kontrolisanja brzine vazduha i praćenja rada ventilacionog sistema.

Lako su požari u tunelima retki, njihova mogućnost mora da se uzme u obzir kada se dimenzioniše ventilacioni sistem i priprema plan za implementaciju ventilacije. Kada kontrolni sistem tunela otkrije požar, treba da se iz normalnog radnog režima prebaci u režim dejstva za vrijeme požara. U skladu sa PIARC preporukama, donja polovina saobraćajnog područja treba da bude čista od dima i vrućih gasova koliko god je to moguće, čime se omogućava bezbedno područje i dovoljna vidljivost za evakuisanje ljudi iz tunela. U tunelima sa jednosmernim saobraćajem i longitudinalnom ventilacijom, ventilacioni sistem treba da funkcioniše na taj način da brzina vazduha u cevi u slučaju požara ne prelazi 1,5 m/s. Kod dvosmernog saobraćaja, longitudinalni protok vazduha treba da se zaustavi.

U tunelima dužine 2.000 m ili više sa dvosmernim saobraćajem, treba da se planira transversalna ili polutransverzalna ventilacija, jer omogućuje neprekidno usisavanje dima i vrućih plinova kroz ventilacione vodove u ranim fazama požara kada je dim koncentrisan samo ispod stropa cevi tunela. Preporučuje se kapacitet usisavanja od 80 m³/s/km, prema PIARC-u.

Sistem upravljanja ventilacijom mora da se isplanira tako da se meri brzina vazduha, čestice prašine i koncentracija CO u tunelu, a izmereni iznosi da se upoređuju sa ranije zadatim graničnim vrednostima prilikom rada

ventilacionih uređaja. U slučaju da vrednosti prelaze granice, sistem kontrole i upravljanja treba da reaguje u skladu s tim.

U tunelima koji nisu namenjeni za saobraćaj motornih vozila nije potrebna ni ventilacija.

Sistemi kontrole tunela i sigurnosni sistemi treba da se planiraju u skladu sa Direktivom EU.

11.5.5 PROTIVPOŽARNA BEZBEDNOST

11.5.5.1 Osnovni zahtevi

Za potrebe protivpožarne bezbednosti tuneli treba da budu opremljeni protivpožarnim alarmima i sistemima. Oni treba da se planiraju u skladu sa zahtevima iz evropske Direktive.

11.5.5.2 Vatrodojavni sistemi

U svakoj niši za pozive u slučaju nužde, u poprečnim prelazima, prostorijama za sklanjanje, komandnom centru i blizu portala tunela treba da se postave ručni javljači požara.

U cevima tunela dužim ≥ 300 m mora se predvideti ugradnja automatskog vatrodojavnog sistema (linijski vatrodojavni uređaj) u koji je uključena opcija određivanja lokacije požara.

Automatski detektori dima moraju da se postave u sve niše za napajanje, niše za SOS pozive, centrale za napajanje i u komandni centar.

Signal protivpožarnog alarma mora odmah da aktivira protivpožarni program i prijaviće se komandnom centru iz kojeg će da se uzbune kompetentne službe u skladu sa Planom informisanja i uzbunjivanja.

11.5.5.3 Hidrantna mreža

U tunelima dužim ≥ 300 m protivpožarni sistem treba da ima cevovod pod pritiskom i hidrante sa pouzdanim snabdevanjem vodom duž celog tunela. Cevovod pod pritiskom treba da bude postavljen u instalacionom kanalu ispod trotoara. Kod tunela sa dve cevi, cevovodi pod pritiskom u obe cevi trebaju da budu spojeni na zajednički vodeni sistem. Vodeni pritisak u hidrantima treba da bude između 6 i 10 bara. Cevovod pod pritiskom treba da bude spojen sa lokalnim

sistemom snabdevanja vodom ili sa rezervoarom za vodu. Dimenzije rezervoara za vodu i pritisak cevovoda moraju da budu dovoljni za postizanje neprekidnog protoka od 1.200 l/min u vremenu od 60 minuta što iznosi 72 m³.

Ako je na portalima tunela dužine < 300 m obezbeđen hidrant za snabdevanje vodom od 1.200 l/min ili rezervoar za vodu kubikaže 72 m³, nema potrebe da se hidrant postavlja duž tunela, a u suprotnom slučaju u tunelu treba predvideti hidrant.

Protivpožarne niše treba da se postave u odstojanju ne većem od 150 m uzduž celog tunela. One moraju da budu povezane sa cevovodom i opremljene 120 m dugačkim crevom i mlaznicom.

Ako je prikladno korišćenje sistema za automatsko gašenje požara u putnim tunelima, mogućnost njihove instalacije treba da se istraži.

11.5.5.4 Prenosivi ručni aparati za gašenje požara

Prenosivi ručni aparati za gašenje se postavljaju u svim tunelima radi trenutnog gašenja malih požara. Dva prenosiva ručna aparata treba da se postave u svaku nišu za SOS pozive. Signali koji se uključuju dizanjem protivpožarnih aparata će da uključe protivpožarni alarm.

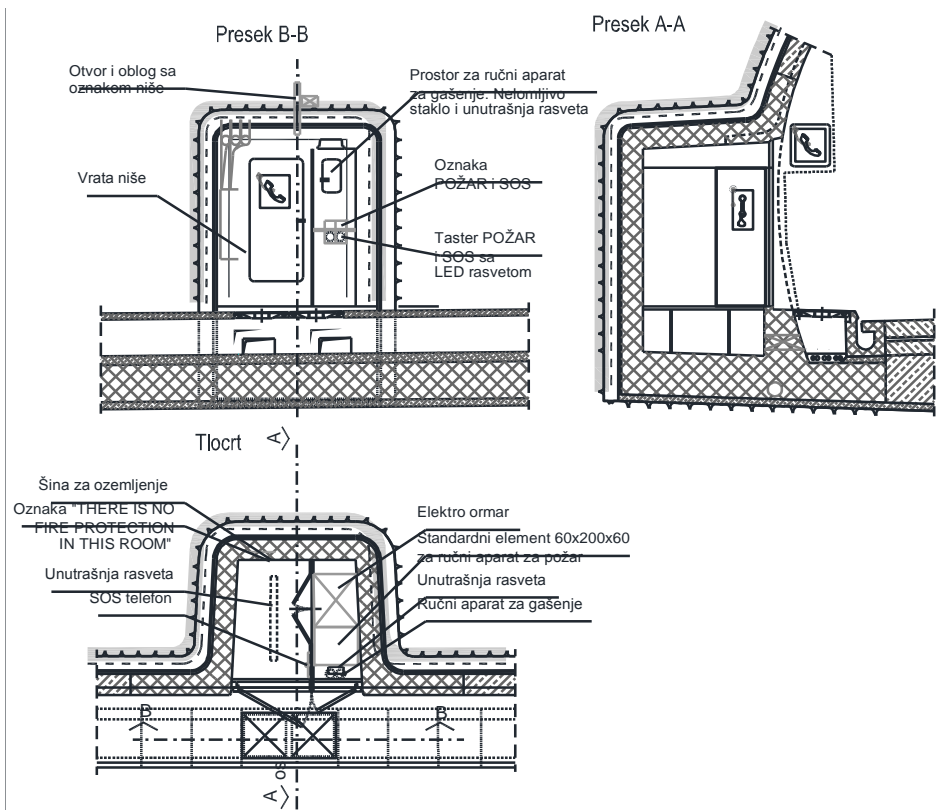
11.5.6 OSTALI SISTEMI ELEKTRO MAŠINSKE OPREME U TUNELU

11.5.6.1 Sistem za poziv u slučaju nužde

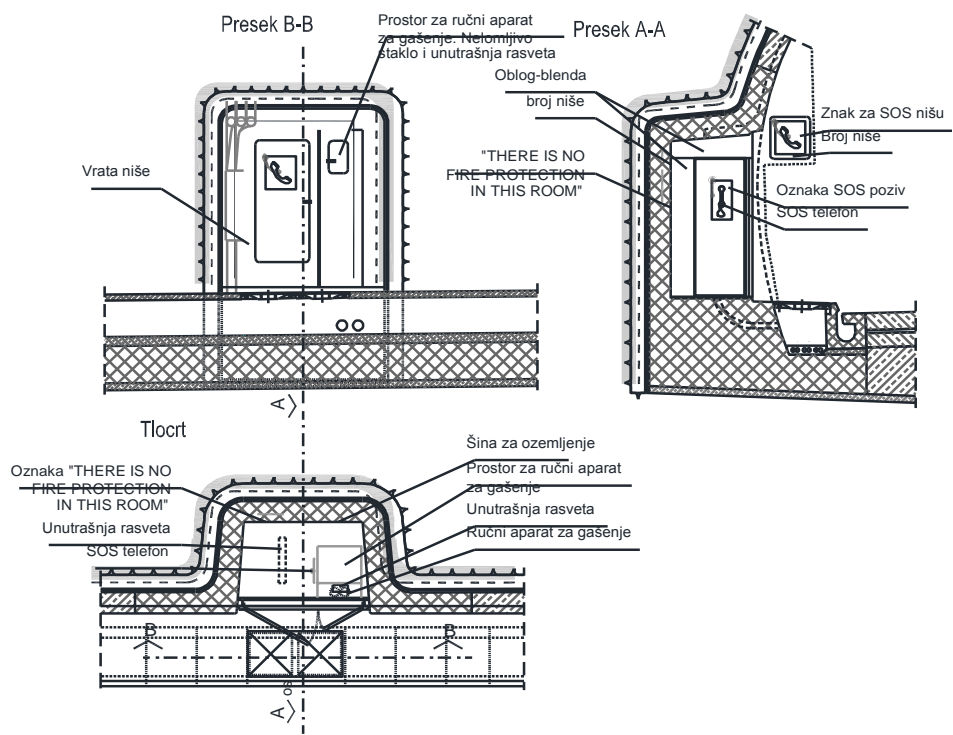
Telefoni za poziv u slučaju nužde moraju da se postave ispred ulaza i u tunelu na međusobnom rastojanju od 150 m duž jedne strane cevi tunela.

Telefoni za poziv u slučaju nužde u tunelu moraju da se postave u niše i da se zatvore pomoću vrata. Telefoni za poziv u slučaju nužde blizu ulaza treba da budu na stubovima duž ceste van tunela ili u specijalnim kabinama.

SOS sistem treba da bude povezan sa komandnim centrom.



Slika 11.5.2: Niša za pozive u slučaju nužde sa elektro omaricom –nacr i bočni prikaz (poprečni presek)



Slika 11.5.3: Niša za pozive u slučaju nužde – nacr i bočni prikaz (poprečni presek)

11.5.6.2 Video nadzor (CCTV- televizija zatvorenog kruga)

Sistem video nadzora mora da bude postavljen u tunele duže ≥ 300 m.

Video praćenje omogućava operaterima u komandnom centru da konstantno prate situaciju u celom tunelu i u područjima ulaza i izlaza. Kamere u tunelu treba da budu statične, dok u područjima portala moraju da budu okretne i opremljene objektivom za zumiranje. Kamere unutar tunela treba da se pozicioniraju tako da omogućavaju optimalni pregled situacije u tunelu i na takvim udaljenostima koje omogućavaju nadogradnju sistema video praćenja sistemom za automatsku detekciju vanrednih događaja. Kamere zato treba postaviti u tunelu na maksimalno 100 m.

U vanrednim događajima, prilikom poziva u slučaju nužde ili požarnim alarmima, slika na ekranu u kontrolnom centru treba da se automatski prebaci na kameru na dotičnoj lokaciji.

11.5.6.3 Automatska detekcija vanrednih događaja

Postavljanje opreme za automatsko otkrivanje vanrednih događaja preporučuje se u tunnelima dužim ≥ 300 m. Mašinska i programska oprema automatski otkriva vanredne događaje (vožnja u suprotnom smeru, zaustavljeno vozilo, detekcija izgubljenog tereta na voznoj traci, detekcija dima).

11.5.6.4 Tunelski radio uređaji

U svim tunnelima treba da se postavi radio sistem koji omogućava komunikaciju na odvojenim frekvencijama za hitne službe (policiju, vatrogasce, spasilačku službu) i službu održavanja, te za nacionalnu radijsku stanicu sa mogućnošću komunikacije direktno u njen program iz komandnog centra.

11.5.6.5 Sistem razglasa

U tunnelima dužim ≥ 300 m preporučuje se instalacija zvučnika postavljenih na lokacijama koje omogućavaju dobar prijem u slučajevima vanrednih događaja (npr. na ulaznom/izlaznom i u zonama sklanjanja).

U novije vreme se zvučnici postavljaju duž celog tunela.

11.5.6.6 Saobraćajni znakovi i signali

Saobraćajni znakovi moraju da budu postavljeni u skladu sa zahtevima koje je navela Direktiva EU. Deskripcija i zahtijevani oblici ispisani su na dodatku.

Veličina saobraćajnih znakova mora biti ograničena prostorom između zida tunela i kolnika, generalno do 50 cm.

11.5.6.7 Transport opasnih materija

U vezi sa transportom štetnih materija moraju se preduzeti sledeće mere:

- znakovi koji opisuju dozvoljene i zabranjene materije moraju da se postave ispred zadnjeg izlaza pre tunela,
- mora se napraviti analiza rizika gde su navedene mere kod transporta štetnih materija (potvrda o dozvoli za ulazak u tunel, stvaranje konvoja vozila, istovremeni transporti...),
- prilagođeno upravljanje tunelom za transport štetnih materija,
- ukoliko analiza rizika predviđi i sistem automatske detekcije opasnog tereta u saobraćaju (ADR) potrebno je isti ugraditi na lokacijama, koje će omogućiti preusmeravanje opasnog tereta na zaobilazni put a ne kroz tunel.

11.5.6.8 Rastojanje među vozilima

Minimalno sigurnosno rastojanje od prednjeg vozila, koje se primjenjuje za cestovne korisnike pri maksimalnoj dozvoljenoj brzini jest 50 metara za lična vozila i 100 metara za teške kamione, a sve pod normalnim uslovima vožnje i u slučajevima defekta, gustog saobraćaja, nesreća ili vatre u tunelu.

U slučajevima kada saobraćaj unutar tunela stane, primenjivo bezbedno rastojanje treba da bude ekvivalentno barem polovini rastojanja koje je gore navedeno.

11.5.6.9 Visinska kontrola

U tunnelima u kojim je oprema montirana na visini nižoj od 5,3 m od vozne trake potrebno je predvideti mehanički ili elektronski sistem visinske kontrole. Elektronski sistemi će meriti visinu vozila viših od 4,20 m (alarm) i visinu vozila viših od 4,5 m (zatvaranje tunela za saobraćaj). Lokacija elektronskih merača

visine i semafora za zatvaranje tunela mora da omogući preusmeravanje previsokih vozila na sporedni put ili zaustavljanje istih u nišama pred tunelom u svrhu pretovora tereta koji prouzrokuje rad visinske kontrole. Sistem visinske kontrole služi zaštititi učesnika u saobraćaju i zaštititi elektro strojne opreme.

11.5.7 UPRAVLJANJE TUNELOM

11.5.7.1 Osnovni zahtevi

Sistem upravljanja tunelom treba da je zamišljen tako da je moguće ostvariti optimalne saobraćajne uslove na dijelovima puta gdje se nalaze tuneli, uz zadane postojeće i planirane uslove na tim dijelovima.

Upravljanje tunelom treba da planira postupke koji se tiču:

- normalnih uslova rada,
- održavanja ili predvidljivih vanrednih situacija (npr. vanredni transport),
- nepredviđeni vanredni događaji (nesreće, vožnja u suprotnom smeru, zaustavljena vozila...),
- požar u tunelu.

U sledeće svrhe:

- bolja bezbednost saobraćaja,
- povećani komfor i ekonomičnost prevoza ljudi i dobara,
- direktno smanjenje štetnog uticaja na okolinu.

11.5.7.2 Upravljanje u vandrednim okolnostima

U tunelima mogu da se očekuju i predviđeni vanredni događaji (npr. radovi na održavanju, vanredni transport) i nepredviđeni vanredni događaji (nesreće, vožnja u suprotnom smeru, zaustavljena vozila, požari...).

U slučaju da dođe do vanrednog događaja u tunelu, sistem, uz automatsko (ako je instaliran), mora da omogući i ručno preduzimanje odgovarajućih mera upravljanja tunelom i informisanja korisnika (saobraćajne nesreće, radovi na održavanju).

U slučaju zatvaranja tunela (jednocevnog tunela, dvosmerni saobraćaj), na ulaznom platou treba da je predviđeno posebno područje za spašavanje sudionika u vanrednom događaju, kao i područje za sletanje helikoptera kod tunela za koje je posebna studija predvidela tu potrebu.

11.5.7.3 Funkcije sistema upravljanja tunelom

Glavne funkcije sistema upravljanja tunelom, koje su i interaktivno povezane, jesu redom:

- sakupljanje (beleženje) podataka o saobraćaju i okolini koji se tiču vanrednih događaja ispred i unutar tunela (saobraćajne nesreće, požari, rad na održavanju, kvalitet vazduha unutar tunela...),
- upravljanje za vreme vanrednih događaja,
- kontrola trenutnog stanja saobraćaja ispred i unutar tunela korišćenjem komunikacionih uređaja (trobojni semafori, jednobojni semafori – treptači, LED usmerivači, promenljivi znakovi obaveštenja o saobraćaju – CTIS, radio, SOS, video nadzor, zvučni sistem...),
- upravljanje ventilacijom (ako postoji),
- upravljanje rasvetom (danju, noću, u slučaju nužde ...),
- osiguranje električnog napajanja (iz mreže ili nužnih izvora),
- upravljanje protokom saobraćaja i informisanje korisnika drumske mreže izvan i unutar tunela.

U slučaju da je sistem upravljanja tunelom deo nekog šireg sistema (npr. sistem za kontrolu i upravljanje autoputevima ili drugim putevima), treba da bude u komunikaciji i povezan sa drugim sistemima.

Sistem će pružati kontrolu i upravljanje saobraćajem kada:

- saobraćajne karakteristike dosegnu kritične nivoe (unutar tunela ili u zoni gde se tunel nalazi),
- uslovi u okolini ugrožavaju bezbednost korisnika puta (slaba vidljivost, prevelika koncentracija CO ...).

Kad dođe do predviđenih i nepredviđenih događaja na putu (radovi na cesti, saobraćajne nesreće, požari ...).

11.5.7.4 Podaci prikupljeni merenjima

- Merne naprave za prikupljanje podataka o saobraćaju i okolini treba da budu postavljene na mestima koja omogućavaju pregled stvarne situacije u saobraćaju duž celog tunela. Posebna pažnja treba da se posveti ulaznim i izlaznim zonama tunela:
- merni uređaji za sakupljanje podataka o saobraćaju (u stvarnom vremenu) trebaju dati: podatke o broju (brojanje), podatke o brzini vozila, struktura saobraćaja za svaku saobraćajnu traku,

- merni uređaji za skupljanje podataka o okolini: prijavljivanje požara, merenje CO i vidljivost, longitudinalna brzina vazduha u tunelskoj cevi, informacije o vremenskim uslovima izvan tunela, u meri u kojoj oni mogu da utiču na saobraćajne uslove unutar tunela.

Merni uređaji za sakupljanje podataka o okolini treba da budu smešteni unutar cevi tunela i u nišama (udubljenja u zidu) kao i u energetskim stanicama i u području od uticaja izvan tunela.

11.5.7.5 Upravljanje saobraćajem unutar tunela

Sistem upravljanja saobraćajem unutar tunela sastoji se od:

- znakova obaveštenja o saobraćaju,
- trobojnih semafora, jednobojnih semafora – treptača,
- promenljivih znakova obaveštenja o saobraćaju (CTIS) (višenamenskih),
- promenljivih saobraćajnih znakova (CTS); (višenamenskih),
- kontrolnog sistema upravljanja (CMS),
- mreže za prienos podataka,
- centra za upravljanje tunelom (TMC).

Znakovi obaveštenja treba da sadrže prikaz koji je prilagođen trenutnoj situaciji na putu; moraju i da omogućavaju upravljanje protokom saobraćaja i da informišu korisnike ispred i unutar tunela. Veličina, osvetljenost i položaj saobraćajnih znakova za obaveštavanje u vezi sa njihovom lokacijom (vrata tunela, ivica tunelske cevi) omogućiće najveću moguću vidljivost znakova pri najvišim dozvoljenim brzinama vozila u svim uslovima okoline.

Kontrolori kontrolnog sistema upravljanja treba da na odgovarajući način obrade podatke sakupljene pomoću mernih uređaja za saobraćaj i okolinu, da komuniciraju sa ostalim uređajima u sistemu upravljanja, da upravljaju saobraćajnim znakovima obaveštenja, rasvetom i ventilacijom.

Mreža za prenos podataka mora da omogućiti sledeće:

- prenos prikupljenih podataka o saobraćaju i okolini (u stvarnom vremenu) iz mernih uređaja do centra za upravljanje tunelom,
- prenos tih podataka iz cent(a)ra upravljanja tunelom do znakova obaveštenja, koji tada prikazuju određene saobraćajne sadržaje u slučaju ručnog ili automatskog dejstva sistema,

- povezivanje sa višim nivoima kontrole i upravljanja saobraćajem na autoputevima (regionalna kontrola saobraćaja i upravljački centar na putu),
- povezivanje sa ostalim informacionim sistemima (glavna kontrola saobraćaja i upravljački centar na putu).

Mrežni i pojedini elementi sistema moraju da koriste uniformni protokol za komunikaciju, koji takođe omogućava nadogradnju sistema novim uređajima. Centri upravljanja tunelom (TMC) treba da budu prilagođeni lokalnim okolnostima i zahtevima u odnosu na tunele kojima se upravlja. Moraju neprekidno da primaju, analiziraju, pohranjuju i prikazuju podatke iz mernih uređaja i ostalih informacionih sistema; ti podaci mogu da budu u tekstualnom, digitalnom audio ili video formatu. TMC mora da poseduje sistem za merenje vremena i upozoravanje u slučaju kritičnih situacija u saobraćaju, sisteme predviđanja simulacije saobraćaja i vanrednih događaja, te sistem za alarmiranje hitnih službi (policijskih spasilačkih službi, vatrogasaca, medija...).

11.5.8 POSTROJENJA ZA BEZBEDNOST TUNELA

11.5.8.1 Izlazi i putevi za slučaj nužde

Odredbe vezane na objekte za bezbednost tunela su data odelku 11.1.2.2.2 i v 11.1.2.4.2.

11.5.9 VEK TRAJANJA PROJEKTOVANE OPREME I KVALITET

Za električnu i mašinsku opremu koja se ugrađuje u tunele karakterističan je veoma brz razvoj novih tehnologija i time uslovljena nadogradnja sistema. Računarska i programska oprema zastareva u roku od 5 do 10 godina. Baterije za uređaje za besprekidno napajanje imaju vek trajanja najviše do 10 godina. Isti vek trajanja imaju baterije za bezbednosne sisteme (alarmiranje u slučaju požara, javljanje u slučaju provala i poziv u slučaju opasnosti. Elektronski sklopovi (prenosna oprema, uređaji za razvođenje, uređaji za napajanje elektrilčnom energijom, centrale, merna oprema itd.) imaju vek trajanja do 15 godina. Po pravilu je, zbog intenzivnog razvoja, potrebno da se ta oprema zameni za 10 do 15 godina. Kućišta svetiljki izrađena su od V4A materijala, 1.4571 po DIN isto kao kućišta ventilatora, vrata, niša za pozive u slučaju nužde,

svetiljke za pokazivanje pravca, saobraćajna oprema, kablovske police i poklopci žlebova. Materijal je otporan na agresivnu atmosferu u tunelima. Racionalno je da se svetiljke zamene u periodu od 15 do 25 godina. Međutim, na pomolu su nove tehnologije – svetiljke sa LED diodama.

U istom periodu, od 15 do 25 godina, racionalno je da se zamene i svi blokovi prekidača, transformatori, telekomunikacioni ormani.

Najduže izdržavaju kablovi, i to prema predviđanjima do 50 godina.

U nadzornim centrima ugrađeno je mnogo elektronike (prenosna oprema, dekoderi, digitalna memorija – RAID, serveri, radne stanice, bezbednosne centrale, radio oprema itd.). Ova oprema zastareva u periodu do 10 godina. U istom periodu potrebno je zameniti velike zidne ekrane, dakle u periodu do 10 godina. Najčešće su promene u nadzornim centrima. Karakteristično za nadzorne centre je da se prilikom izgradnje novih tunela i implementacije opreme za njih modernizuje i postojeća oprema u nadzornim centrima.

Zamenjuje se i prerađuje stara oprema, dodaju se novi zidni displeji, zamenjuju hardver i softver i prerađuju nadzorni pultovi, podesti, konstrukcije zidnih displeja. Dodaju se nove jedinice za hlađenje, prerađuje ventilacija, rasveta, zamenjuju UPS uređaji većim, menja oprema za sos pozive zbog novih stubića za pozive i izvode radovi na ujednačavanju sistema, udruživanju komandi – udružuju se radne stanice, serveri, tastature, miševi, LCD ekrani itd.

U vezi sa gore navedenim može se konstatovati da je celishodno da se oprema u tunelima zameni prosečno svakih 20 godina, i to tako što će se određena oprema zameniti u periodu od 5 do 10 godina, a ostala oprema u vremenu do 25, odnosno kablovi čak svakih 50 godina.

Kablovi za ventilatore, za rasvetu za slučaj opasnosti, napajanje elektro prostorija i niša u tunelu, kao i sva ostala oprema od životnog značaja (saobraćajni znaci, SOS tasteri, javljači požara i daljinsko upravljanje vratima u gredama...) moraju da budu vatrostalni – E90. Svi ostali kablovi u tunelu moraju da imaju izolaciju bez halogenih elemenata.