

TP98

Ministerstvo dopravy České republiky,
Odbor pozemních komunikací

Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací

TECHNICKÉ PODMÍNKY



Schváleno MD ČR - OPK, č.j. 449/03-120-RS/1 ze dne 28. 8. 2003,
s účinností od 1. 10. 2003

Současně se ruší a nahrazují v celém rozsahu TP 98, schválené býv. MDS ČR č.j. 23718/97-120
z 25. 9. 1997

© ELTODO EG, a.s.
2004



Upozornění

Technické podmínky TP 98 „Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací“ byly poprvé vydány v roce 1997.

Aktualizované vydání z roku 2004 plně nahrazuje původní technické podmínky ke dni účinnosti. Nově projektované tunely se řídí těmito předpisy, stejně jako rekonstrukce a opravy většího rozsahu u stávajících tunelů. U tunelů připravených ke stavbě se schválenou realizační dokumentací se postupuje dle TP 98 (1997).

Určení technických podmínek

Technické podmínky jsou určeny projektantům, investorům, správčům a provozovatelům, dále silničním správním orgánům a dalším subjektům, odpovědným za bezpečnost provozu tunelů pozemních komunikací. Souhlas s odchylným řešením provozních souborů osvětlení, ventilace, napájení a snížení nároků na vybavení z hlediska bezpečnosti (tab. 6-1: Rozdělení technických prostředků podle kategorie tunelu), může vydat Ministerstvo dopravy po souhlasu dotčených ústředních správních úřadů.

Obsah

Všeobecně.....	12
Použité zkratky.....	12
Citované a související právní předpisy a normativní dokumenty	13
Úvod	15
I. Technologické vybavení tunelu	16
1.1 Funkční dělení technologie tunelu	16
1.2 Tunel jako telematický systém	16
1.3 Začlenění tunelu do dopravního systému	16
1.4 Metodika návrhu funkčního celku	18
II. Kategorizace tunelů z hlediska bezpečnostního vybavení	19
2.1 Krátké tunely.....	20
III. Dopravní systém	21
3.1 Dopravní stavy tunelu	21
3.1.1 Stavové diagramy.....	22
3.1.2 Časové diagramy	22
3.2 Dopravní značení a dopravní zařízení.....	23
3.2.1 Zásady užití svislých dopravních značek	23
3.2.2 Technologie provedení PDZ a ZPI.....	23
3.2.2.1 Stupeň krytí PDZ a ZPI	23
3.2.2.2 Doba změny PDZ a ZPI.....	23
3.2.3 Volba dopravního značení a dopravních zařízení.....	24
3.2.3.1 Minimální vybavení.....	24
3.2.3.2 Základní vybavení.....	26
3.2.3.3 Rozšířené vybavení.....	26
3.2.4 Svislé dopravní značky	26
3.2.4.1 Způsob použití v tunelech a přilehlých úsecích.....	26
3.2.5 Světelná signalizace	32
3.2.5.1 Světelné signály	32
3.2.5.2 Světelné signály pro jízdu v pruzích.....	33
3.2.5.3 Provoz a kontrola	33
3.2.5.4 Pravidla přesměrování provozu	33
3.2.6 Zařízení pro provozní informace (ZPI)	33
3.2.6.1 Ostatní požadavky.....	35
3.2.7 Dopravní zařízení	35
3.2.7.1 Reflexní elementy	35
3.2.7.2 Zařízení pro měření výšky vozidel	36
3.2.7.3 Zábrany	36
3.2.8 Proměnné dopravní značky pro liniové řízení.....	36
3.2.8.1 Detekce vozidel.....	37
3.2.9 Použité detektory.....	38
3.2.10 Umístění detektorů	38
3.2.10.1 Měření pro klasifikaci dopravy a statické modely	38
3.2.10.2 Měření pro statický model	38
3.2.10.3 Měření pro identifikaci dopravního excesu.....	38

3.3 Identifikace dopravního excessu v tunelu.....	38
3.3.1 Metody zjišťování událostí.....	39
3.3.1.1 Metody založené na dopravních detektorech.....	39
3.3.1.2 Metoda videodetekce	39
IV. Osvětlení tunelu.....	40
4.1 Úvod.....	40
4.2 Volba osvětlení tunelu.....	40
4.3 Cíle a požadavky osvětlení tunelu	40
4.4 Terminologie	40
4.4.1 Pásma osvětlení tunelu.....	40
4.4.1.1 Příjezdové pásmo	41
4.4.1.2 Prahové pásmo	41
4.4.1.3 Přechodové pásmo	41
4.4.1.4 Vnitřní pásmo.....	41
4.4.1.5 Výjezdové pásmo	42
4.5 Osvětlení ve dne.....	42
4.6 Změny osvětlení ve dne a regulace osvětlení	42
4.7 Rovnoměrnost jasu	43
4.8 Omezení oslnění.....	43
4.9 mezení jevu míhání.....	43
4.10 O světlení v noci	43
4.11 Opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu.....	44
4.12 Nouzové osvětlení.....	44
4.12.1 Obecně.....	44
4.12.2 Náhradní osvětlení tunelu.....	44
4.12.2.1 Úroveň náhradního osvětlení	44
4.12.2.2 Uvedení do provozu a řešení havarijních stavů	45
4.12.2.3 Varování řidičům.....	45
4.12.3 Nouzové únikové osvětlení tunelu	45
4.13 Požadavky na svítidla a jasoměry	46
4.14 Údržba	46
4.14.1 Výměna světelných zdrojů	47
4.14.2 Údržba svítidel	47
4.14.3 Čištění stěn tunelu	47
4.14.4 Údržba jasoměrů	47
V. Větrání tunelu	48
5.1 Požadavky	48
5.2 Zjištění požadavku na přídavný vzduch	48
5.2.1 Povolené koncentrace škodlivin.....	48
5.2.2 Základní škodlivé komponenty	48
5.2.3 Emise osobních vozidel	48
5.2.3.1 Emise CO osobních vozidel s benzínovým motorem	49
5.2.3.2 Opacita – emise osobních aut OV s benzínovým motorem.....	50
5.2.3.3 Emise CO od osobních vozidel s dieselmotorem	50
5.2.3.4 Opacita – emise osobních aut OV s dieselmotorem	51
5.2.4 Emise nákladních vozidel.....	52
5.2.4.1 CO – Emise od nákladního vozidla NV.....	52
5.2.4.2 Opacita – emise od nákladního vozidla NV	53
5.2.5 Metodika výpočtu pro množství přiváděného vzduchu	54
5.2.6 Typické dopravní stavy	54
5.2.7 Koncentrace zplodin v tunelovém vzduchu	54
5.3 Požár v tunelu	55
5.3.1 Požadavky	55
5.3.2 Směrodatné velikosti požáru	55

5.3.3 Řízení ventilace v případě požáru	57
5.3.4 Ochranná opatření	58
5.4 Imise způsobené tunelovým větráním	59
5.4.1 Požadavky	59
5.4.2 Imisní průzkumy	59
5.4.3 Tunelové větrání pro ochranu proti imisím	59
5.4.4 Čištění tunelového výfuku	59
5.5 Větrací systémy	60
5.5.1 Přirozené větrání	60
5.5.2 Některé aspekty přirozené ventilace	60
5.5.3 Podélné větrání	60
5.5.4 Polopříčné větrání	61
5.5.5 Příčné větrání	61
5.5.6 Rozsahy použití větracích systémů	62
5.6 Řízení větrání	62
VI. Bezpečnostní vybavení a bezpečnostní stavební úpravy	65
6.1 Bezpečnostní stavební úpravy	65
6.2 Bezpečnostní vybavení	65
6.3 Hlášky nouzového volání	66
VII. Spojovací a dorozumívací zařízení	69
7.1 Rádiové spojení	69
7.2 Ozvučovací zařízení	69
VIII. Požární zabezpečení	71
8.1 Systém EPS	71
8.1.1 Tlačítkové hlásiče požáru	71
8.1.2 Automatické hlásiče požáru	71
8.1.3 Automatická detekce kouře	71
8.1.4 Komunikace systému EPS	72
8.2 Hasicí zařízení	72
8.2.1 Přenosné hasicí přístroje	72
8.2.2 Požární vodovod (vodní potrubí s hydranty)	72
8.2.3 Technická opatření a dokumentace zdolávání požárů	72
8.2.4 Orientační pomůcky pro případ požáru	73
IX. Systém videodohledu	74
9.1 Televizní dohledový systém	74
X. Řídicí systém tunelu	76
10.1 Integrovaný řídicí systém	76
10.2 Charakteristické dopravní stavy tunelu	78
10.3 Fyzická architektura řízení tunelu	78
10.3.1 Řídicí stanice v tunelu	79
10.3.2 Lokální velín tunelu	79
10.3.3 Pracoviště dispečerů dopravy a technologie	79
10.3.4 Integrace do systému řízení dopravy	80
10.4 Základní funkce řídicího systému	80
10.4.1 Dispečink řízení dopravy na úrovni útvaru - GG	81
10.4.2 Dispečink řízení tunelů GT a GA	81
10.4.3 Hlavní řídicí stanice v tunelu - CT	81
10.4.4 Programovatelné automaty a jednotky vzdálených vstupů a výstupů v tunelu - CS	82
10.5 Komunikační síť	82
10.6 Hierarchie řízení	83

XI. Zásobování elektrickou energií	84
11.1 Všeobecně	84
11.1.1 Terminologie.....	84
11.1.2 Úvod	84
11.1.3 Stanovení vnějších vlivů	84
11.2 Zdroje napájení elektrickou energií	84
11.3 Kategorizace jednotlivých provozů	84
11.3.1 Zařízení napájená ve stupni 1	85
11.3.1 Zařízení napájená ve stupni 2	85
11.4 Zdroje elektrické energie v tunelu.....	85
11.4.1 Zdroj vysokého napětí do 52 kV	85
11.4.2 Nezávislý záložní zdroj napájení elektrickou energií.....	85
11.4.3 Zdroj nepřerušované dodávky elektrické energie.....	86
11.5 Rozvodná zařízení.....	86
11.5.1 Rozvodná zařízení vysokého napětí do 52 kV	86
11.5.2 Rozvodná zařízení nízkého napětí.....	86
11.5.3 Rozvodná zařízení nepřerušované dodávky elektrické energie.....	87
11.6 Kompenzace jalového výkonu	87
11.7 Rozvody silnoproudu	88
11.8 Ochrana před bludnými proudy	88
11.9 Ochrana před nebezpečným dotykovým napětím	89
11.10 Uzemnění	89
Závěr	89
Použitá literatura	89
Příloha A – Metodika návrhu osvětlení tunelu ve dne.....	91
A 1 Terminologie a značení	91
A 1.1 Jas v jednotlivých pásmech	91
A 1.1.1 Jas příjezdového pásma L20	91
A 1.1.2 Jas prahového pásma Lth	91
A 1.1.3 Poměr jasů prahového a příjezdového pásma $L_{th}/L_{20} = k$	91
A 1.1.4 Jas přechodového pásma Ltr	91
A 1.1.5 Jas vnitřního pásma Lin	91
A 1.2 Brzdná dráha a rychlost	91
A 1.2.1 Návrhová rychlost	91
A 1.2.2 Celková brzdná dráha.....	91
A 1.3 Osvětlovací soustava a kontrast.....	91
A 2 Dopravní podmínky.....	92
A 2.1 Nároky na zrak řidiče	92
A 2.2 Rychlost a viditelnost	92
A 3 Osvětlení za dne	92
A 3.1 Jas příjezdového pásma L20.....	92
A 3.1.1 První metoda	93
A 3.1.2 Druhá metoda	93
A 3.1.3 Užití obou metod.....	93
A 3.2 Jas prahového pásma Lth.....	95
A 3.2.1 Vliv rozměrů tunelu	95
A 3.2.2 Úroveň jasu prahového pásma	95
A 3.2.3 Délka prahového pásma	97
A 3.2.4 Jas stěn	97
A 3.3 Jas přechodového pásma Ltr	97
A 3.3.1 Délka přechodového pásma	97
A 3.4 Jas vnitřního pásma Lin	97
A 3.5 Jas výjezdového pásma Lex	97

Příloha B – Výpočet množství přiváděného vzduchu	99
B 1 Potřeba přiváděného vzduchu	99
B 1.1 Oxid uhelnatý	99
B 1.2 Zplodiny dieselových motorů – opacita	99
B 1.3 Meteorologické podmínky	99
B 1.4 Vliv pístového účinku vozidel	99
B 2 Výpočtové hodnoty větrání	100

Seznam obrázků

Obr. 1-1: Subsystémy tunelu, jejich vzájemné vazby a začlenění tunelu do dopravního systému oblasti a útvaru z hlediska telematického přístupu.....	17
Obr. 1-2: Hierarchie řídicích systémů dopravy	18
Obr. 2-1: Kategorizace tunelů z hlediska bezpečnostního vybavení.....	19
Obr. 3-1: Stavový diagram přechodu ze statického stavu S1 (jednosměrný provoz) do statického stavu 2 (obousměrný provoz)	21
Obr. 3-2: Diagram stavových přechodů mezi dopravními režimy	22
Obr. 3-3: Časový diagram přechodu dopravního režimu z S1 do S2.....	22
Obr. 3-4: Kriteria pro vybavení tunelu z hlediska dopravního značení a zařízení	24
Obr. 3-5: Minimální vybavení tunelu [4]	25
Obr. 3-6: Základní vybavení tunelu [4].....	27
Obr. 3-7: Rozšířené vybavení tunelu [4].....	28
Obr. 3-8: Příklad použití dopravní značky „Omezení v jízdním pruhu“ a dopravní značky „Zákaz vjezdu nákladních automobilů“ v kombinaci s dopravními značkami „Nejvyšší dovolená rychlost“	29
Obr. 3-9: Informativní dopravní značka pro vyznačení nouzového stání (IP9) s dodatkovou tabulkou.....	29
Obr. 3-10: Informativní dopravní značka ¹ pro vyznačení otáčecího zálivu s dodatkovou tabulkou	30
Obr. 3-11: Informativní dopravní značka č. IP9 s vyznačením hlásky nouzového volání	30
Obr. 3-12: Návěst před jednou křižovatkou (jedno odbočení).....	30
Obr. 3-13: Návěst před dvěma křižovatkami (dvě odbočení)	30
Obr. 3-14: Vyznačení dvou cílů ve směru odbočení	31
Obr. 3-15: Vyznačení jednoho cíle ve směru odbočení.....	31
Obr. 3-16: Schématické uspořádání signálů č. S8a až č. S8d při řádném provozování tunelu (dva pruhy západ-východ; jeden pruh východ-západ).....	34
Obr. 3-17: Schématické uspořádání signálů č. S8a až č. S8d při mimořádném provozování tunelu (jeden pruh západ-východ; prostřední částečně uzavřen; jeden pruh východ-západ)	34
Obr. 3-18: Příklad uzavření jízdního pruhu v tunelu v místě odbočení	34
Obr. 3-19: Třířádková informační tabule na vjezdu do tunelu.....	35
Obr. 3-20: Přesměrování vozidel aktivními elementy z původně přímého pruhu na odbočení	36
Obr. 3-21: Příklad konfigurace dopravních značek liniového řízení (portál č. 1 je první ve směru jízdy)	37
Obr. 3-22: Příklad dopravních senzorů modelovaných systémem videodetekce na příjezdu k tunelu	39
Obr. 3-23: Zvýšení spolehlivosti identifikace události překrytím kamer.....	39
Obr. 4-1: Typický podélný řez jednosměrným tunelem.....	41
Obr. 4-2: Členění nouzového osvětlení tunelu.....	44
Obr. 5-1: Grafický časoprostorový záznam teplot hoření nákladního vozidla.....	56
Obr. 5-2: Průběh rozložení kouře v závislosti na čase	56
Obr. 5-3: Příklad uspořádání únikových komunikací a/nebo odsávání kouře pro různé délky tunelu s protisměrným provozem	58

Obr. 5-4: Podélné větrání pomocí proudových ventilátorů	60
Obr. 5-5: Podélné větrání s pomocnými výfukovými komíny	60
Obr. 5-6: Polopříčné větrání	61
Obr. 5-7: Polopříčné - příčné větrání	61
Obr. 5-8: Příčné větrání	61
Obr. 5-9: Příklad příčného větracího systému	61
Obr. 5-10: Funkční vazby při řízení vzduchotechniky	62
Obr. 5-11: Principiální schéma měřiče CO (přijímač, vysílač, vyhodnocovací jednotka)	64
Obr. 6-1: Označení kabiny SOS	67
Obr. 6-2: Příklad uspořádání skříně SOS	67
Obr. 7-1: Informativní dopravní značka č. J15	69
Obr. 9-1: Kamera v povětrnostním krytu	74
Obr. 10-1: Základní schéma řídicího systému	76
Obr. 10-2: Příklad řešení obrazovky řídicího systému	77
Obr. 10-3: Architektura tunelových systémů	80
Obr. 11-1: Typové schéma rozvodného zařízení vysokého napětí do 52 kV	86
Obr. 11-2: Typové schéma rozvodného zařízení nízkého napětí	87
Obr. 11-3: Typové schéma rozvodného zařízení nerušené dodávky elektrické energie	87
Obr. A 1-1: Síť kontrolních míst a svítidla, která jsou brána v úvahu při stanovení L/E_v tunelového osvětlovacího systému	92
Obr. A 3-1: Brzdná vzdálenost 160 m, obloha 35 %	94
Obr. A 3-2: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 27 %	94
Obr. A 3-3: Brzdná vzdálenost 60 m, obloha 14 %	94
Obr. A 3-4: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 18 %	94
Obr. A 3-5: Brzdná vzdálenost 160 m, obloha 14 %	94
Obr. A 3-6: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 3 %	94
Obr. A 3-7: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 18 %	95
Obr. A 3-8: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 4 %	95
Obr. A 3-9: Doporučený průběh jasu v prahovém a přechodovém pásmu	98

Seznam tabulek

Tab. 4-1: Nedovolené rozteče svítidel pro vybrané rychlosti	43
Tab. 5-1: Doby pobytu osob v závislosti na koncentracích oxidu uhelnatého a druhu vykonávané činnosti	48
Tab. 5-2a: Podíl osobních vozidel OV s dieselmotorem $a_{OV,D}$ k celkovému počtu osobních vozidel OV podle švýcarské směrnice z r. 2000	49
Tab. 5-2b: Podíl osobních vozidel OV s dieselmotorem $a_{OV,D}$ k celkovému počtu osobních vozidel OV pro ČR – údaj pro r. 2000	49
Tab. 5-3: CO-emise CO od OV,B	49
Tab. 5-4: Časový faktor pro OV,B a CO	50
Tab. 5-5: Výškový faktor pro OV,B a CO	50
Tab. 5-6: Dodatečný příspěvek – opacita od OV,B $q_{AR,OV}$	50
Tab. 5-7: CO-emise CO od OV,D	50
Tab. 5-8: Časový faktor pro OVD a CO	51
Tab. 5-9: Výškový faktor pro f_H pro OV,D a CO	51
Tab. 5-10: Opacita – emise osobních aut s dieselmotorem e_O od OV,D	51
Tab. 5-11: Časový faktor pro OV,D – opacita	51

Obr. 5-4: Podélné větrání pomocí proudových ventilátorů	60
Obr. 5-5: Podélné větrání s pomocnými výfukovými komíny	60
Obr. 5-6: Polopříčné větrání	61
Obr. 5-7: Polopříčné - příčné větrání	61
Obr. 5-8: Příčné větrání	61
Obr. 5-9: Příklad příčného větracího systému	61
Obr. 5-10: Funkční vazby při řízení vzduchotechniky	62
Obr. 5-11: Principiální schéma měřiče CO (přijímač, vysílač, vyhodnocovací jednotka)	64
Obr. 6-1: Označení kabiny SOS	67
Obr. 6-2: Příklad uspořádání skříně SOS	67
Obr. 7-1: Informativní dopravní značka č. J15	69
Obr. 9-1: Kamera v povětrnostním krytu	74
Obr. 10-1: Základní schéma řídicího systému	76
Obr. 10-2: Příklad řešení obrazovky řídicího systému	77
Obr. 10-3: Architektura tunelových systémů	80
Obr. 11-1: Typové schéma rozvodného zařízení vysokého napětí do 52 kV	86
Obr. 11-2: Typové schéma rozvodného zařízení nízkého napětí	87
Obr. 11-3: Typové schéma rozvodného zařízení nerušené dodávky elektrické energie	87
Obr. A 1-1: Síť kontrolních míst a svítidla, která jsou brána v úvahu při stanovení L/E_v tunelového osvětlovacího systému	92
Obr. A 3-1: Brzdná vzdálenost 160 m, obloha 35 %	94
Obr. A 3-2: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 27 %	94
Obr. A 3-3: Brzdná vzdálenost 60 m, obloha 14 %	94
Obr. A 3-4: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 18 %	94
Obr. A 3-5: Brzdná vzdálenost 160 m, obloha 14 %	94
Obr. A 3-6: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 3 %	94
Obr. A 3-7: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 18 %	95
Obr. A 3-8: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 4 %	95
Obr. A 3-9: Doporučený průběh jasu v prahovém a přechodovém pásmu	98

Seznam tabulek

Tab. 4-1: Nedovolené rozteče svítidel pro vybrané rychlosti	43
Tab. 5-1: Doby pobytu osob v závislosti na koncentracích oxidu uhelnatého a druhu vykonávané činnosti	48
Tab. 5-2a: Podíl osobních vozidel OV s dieselmotorem $a_{OV,D}$ k celkovému počtu osobních vozidel OV podle švýcarské směrnice z r. 2000	49
Tab. 5-2b: Podíl osobních vozidel OV s dieselmotorem $a_{OV,D}$ k celkovému počtu osobních vozidel OV pro ČR – údaj pro r. 2000	49
Tab. 5-3: CO-emise CO od OV,B	49
Tab. 5-4: Časový faktor pro OV,B a CO	50
Tab. 5-5: Výškový faktor pro OV,B a CO	50
Tab. 5-6: Dodatečný příspěvek – opacita od OV,B $q_{AR,OV}$	50
Tab. 5-7: CO-emise CO od OV,D	50
Tab. 5-8: Časový faktor pro OVD a CO	51
Tab. 5-9: Výškový faktor pro f_H pro OV,D a CO	51
Tab. 5-10: Opacita – emise osobních aut s dieselmotorem e_O od OV,D	51
Tab. 5-11: Časový faktor pro OV,D – opacita	51

Tab. 5-12: Výškový faktor pro OV,D a opacita.....	51
Tab. 5-13: CO – emise e_O od NV – 10t.....	52
Tab. 5-14: Časový faktor pro NV a CO	52
Tab. 5-15: Výškový faktor pro NV a CO	52
Tab. 5-16: Hmotnostní faktor f_M pro NV, CO a opacita.....	53
Tab. 5-17: Opacita – emise e_O od NV – 10t.....	53
Tab. 5-18: Časový faktor pro NV a opacitu	53
Tab. 5-19: Výškový faktor pro NV a opacitu.....	53
Tab. 5-20: Příspěvek opacita – emise $q_{AR,NV}$	53
Tab. 5-21: Typické hustoty dopravy pro vybrané dopravní stavy tunelů.....	54
Tab. 5-22: Závislost střední rychlosti na stoupání tunelu	54
Tab. 5-23: Typické hodnoty škodlivin pro různé dopravní stavy.....	55
Tab. 5-24: Typické hodnoty vyzářeného tepelného výkonu a množství zplodin pro návrh větracího systému.....	55
Tab. 5-25: Rozložení teploty v závislosti na charakteru požáru	56
Tab. 5-26: Podélné rychlosti proudění v tunelu pro dimenzování větrání při požáru.....	57
Tab. 5-27: Použití ventilačních systémů v závislosti na délce tunelu	62
Tab. 6-1: Rozdělení technických prostředků podle kategorie tunelu	65
Tab. A 1-1: Kategorie osvětlení podle L/E_V	92
Tab. A 3-1: Hodnoty L_{20}	93
Tab. A 3-2: Hodnoty jasu L_C , L_R a L_E	93
Tab. A 3-3: Poměry L_{th}/L_{20}	96
Tab. A 3-4: Doporučené poměry jasu prahového a příjezdového pásma	96
Tab. A 3-5: Minimální hodnota jasu povrchu vozovky vnitřního pásma	97
Tab. B 1-1: Hodnoty pro určení vztlaku při požáru	100

Všeobecně

Technické podmínky „Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací“ (dále TP) stanovují zásady pro návrh a realizaci technologického vybavení tunelu pozemní komunikace. Kromě dělení technologického vybavení tunelu na jednotlivé systémy, uvádí metodiky výpočtu u souborů, které lze exaktně počítat. U ostatních souborů jsou stanoveny základní technické požadavky a funkční principy. TP jsou základem pro systémově sjednocenou technologii tunelů v České republice.

TP 98 - vydání 2004 je novou verzí, která vznikla přepracováním původních technických podmínek TP 98 vydaných v roce 1997. Důvodem jsou nové poznatky a prudký vývoj v oblasti tunelových technologií a také zkušenosti s provozováním tunelů. Podstatněji se zde mění požadavky na bezpečnost a řídicí systémy, což vyplývá, kromě jiného i z tragických nehod v alpských tunelech. Do změn v nové verzi je zahrnut i pokrok ve vývoji techniky a technologií.

ČSN 73 7507 „Projektování tunelů pozemních komunikací“ se na tyto TP odvolává s tím, že TP řeší technologické a technické vybavení tunelu více v detailu a jsou tedy nutným doplňkem ČSN 73 7507. TP neřeší způsob a formu zpracování projektové a provozní dokumentace. Tato oblast je zpracována v Technických kvalitativních podmínkách pro dokumentaci staveb pozemních komunikací, kap. 7 - Tunely, podzemní objekty, galerie, vydaných Ministerstvem dopravy a spojů (1998) a zpracovaných společností Pragoprojekt. Pro vybavení tunelů a úseků mezi nimi vydalo v roce 2002 ÚDI Praha metodickou příručku „Zásady pro dopravní značení, bezpečnost a integraci tunelů do řízení komunikačního systému v hl. m. Praze“. Zásady systémově řeší dopravní značení a dopravní zařízení tunelů a stanovují integraci do městského systému z hlediska telematiky a bezpečnosti.

Zcela novým dokumentem jsou TP 154 „Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací“, které byly vydány Ministerstvem dopravy a spojů a zpracovány společností Eltodo v roce 2002. Podmínky stanovují požadavky na správní a provozní dokumentaci, zásady bezpečnostní politiky a z ní vyplývající požadavky na bezpečnostního vybavení. Dále navrhuje dopravní opatření při omezování provozu a metodiku zpracování dat získávaných v dopravním a technologickém systému. V těchto TP je podrobně diskutována otázka servisu, údržby a životnosti zařízení, která byla původně v TP 98 (1997).

Technologickým vybavením tunelu se rozumí, ve smyslu TP 98, vybavení tunelu technickými prostředky, sloužícími k zajištění bezpečného průjezdu tunelem, při

zachování ekonomických a ekologických požadavků. Jedná se nejenom o větrání, osvětlení, dopravní systém, ale o celý komplex bezpečnostního vybavení, tvořený nouzovými telefony, požárním zabezpečením, spojovacím systémem apod. Tyto technické podmínky neřeší stavební části tunelu.

Použité zkratky

ATM	Asynchronní přenosový systém
CBL	Protisměrné osvětlení
CT1/2	Lokální redundantní řídicí stanice tunelu
CTLŘ	Stanice na úrovni CT liniového řízení
ČSN	Česká technická norma
DZ	Dopravní značky
DZS	Dokumentace zadání stavby
EPS	Elektrická požární signalizace
EZS	Elektrická zabezpečovací signalizace
GA	Dispečink technologického řízení tunelů-úroveň oblasti
GG	Dispečink dopravního řízení-úroveň útvaru
GHz	Kmitočet 1 GHz = 10 ⁹ Hz
GT	Dispečink dopravního řízení tunelů-úroveň oblasti
HZS	Hasičský záchranný sbor
ISO	Mezinárodní standardizační komise
j.p.; JP	Jízdní pruh
JPO	Jednotky požární ochrany
LAN	Místní počítačové síť
LCD	Displej z tekutých krystalů
LED	Světlo emitující diody
MO	Městský okruh
NV	Nákladní vozidlo
OSI	Otevřený komunikační systém
OV	Osobní vozidlo
PDZ	Proměnné dopravní značky
PHM	Pohonné hmoty
RDS-TMC	Rozhlasový digitální systém (RDS) šířící dopravní informace (TMC)
RLTC	Liniové řízení dopravního proudu
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SSZ	Světelné signalizační zařízení
TCP/IP	Komunikační protokol vrstvy ETHERNET
TP	Technické podmínky
UMTS	Mobilní síť 3. generace
UPS	Zdroj nepřerušovaného napájení
VOZ	Vozidlo
VZT	Vzduchotechnika
WAN	Dálkové počítačové síť
ZPI	Zařízení pro provozní informace
IZS	Integrovaný záchranný systém

Citované a související právní předpisy a normativní dokumenty

- ČSN 36 0410 „Osvětlení místních komunikací“
- ČSN 36 0411 „Osvětlení silnic a dálnic“
- ČSN 01 8020 „Dopravní značky na pozemních komunikacích“
- ČSN 03 8350 „Požadavky na protikorozi ochrany úložných zařízení“
- ČSN 32 2180 „Připojování elektrických přístrojů“
- ČSN 33 4000 „Požadavky na odolnost sdělovacích zařízení proti přepětí a nadproudům“
- ČSN 33 4010 „Ochrana sdělovacích vedení a zařízení proti přepětí a nadproudu atmosferického původu“
- ČSN 34 1050 „Předpisy pro kladení silových elektrických vedení“
- ČSN 34 2350 „Předpisy pro vnitřní rozvody sdělovacích vedení“
- ČSN 341610 „Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách“
- ČSN 36 0400 „Veřejné osvětlení“
- ČSN 36 5601 „Světelná signalizační zařízení - technické a funkční požadavky. SSZ pro řízení silničního provozu. SSZ pro zvýraznění nebezpečných míst“
- ČSN 73 0875 „Požární bezpečnost staveb. Navrhování elektrické požární signalizace“
- ČSN 73 6021 „SSZ - umístění a použití návěstidel“
- ČSN 73 6100 „Názvosloví silničních komunikací“
- ČSN 73 6101 „Projektování silnic a dálnic“
- ČSN 73 6110 „Projektování místních komunikací“
- ČSN 73 6201 „Projektování mostních objektů“
- ČSN 73 6221 „Prohlídky mostů pozemních komunikací“
- ČSN 73 6266 „Protinárazové zábrany mostů přes pozemní komunikace“
- ČSN 73 7507 „Projektování tunelů pozemních komunikací“, 2004
- ČSN EN 60529 (33 0330) „Stupně ochrany krytem (krytí - IP kód)“
- ČSN EN 60.598 „Svitidla“
- ČSN EN 12 899-1 „Stálé svislé dopravní značení – Část 1: Stálé dopravní značky“
- prEN 12 899-2 „Silniční zařízení – Pevné svislé dopravní značky – Prosvětlované dopravní majáčky“
- prEN 12 966-1 „Svislé dopravní značky – Proměnné dopravní značky“
- ČSN IEC 60 331 „Zkoušky elektrických kabelů za podmínek požáru - celistvost“
- ČSN IEC 60 332-3 „Zkoušky elektrických kabelů“
- ČSN ISO 3864 Bezpečnostní barvy a bezpečnostní značky
- ČSN EN 54-2 Elektro požární signalizace – Část 2: Ústředna
- ČSN 03 870 „Snížení korozního účinku bludných proudů na úložná zařízení“
- Nařízení vlády č. 11/2002 Sb. Ze dne 14. listopadu 2001, kterým se stanoví vzhled a umístění bezpečnostních značek a zavedení signálů
- TP124 „Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací“, JEKU Praha, 1999
- TP133 „Zásady pro vodorovné dopravní značení“, CDV, Brno, 2000
- TP100 „Zásady pro orientační dopravní značení na pozemních komunikacích“, CDV, Brno, 1999
- TP141 „Zásady pro systémy proměnného dopravního značení a zařízení pro proměnné provozní informace na pozemních komunikacích“, City-Plan, Praha, 2000
- TP154 „Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací“, Eltodo EG, a.s., Praha, 2002
- TP65 „Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích“, CDV, Brno, 2002
- TP66 „Zásady pro přechodné dopravní značení na pozemních komunikacích“, CDV, Brno, 1996
- TP81 „Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení silničního provozu“, Silniční vývoj, Brno, 1996
- Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích
- Vyhláška 30/2001 Sb., kterou se provádějí pravidla provozu na pozemních komunikacích a úprava a řízení provozu na pozemních komunikacích
- Zákon č. 12/1997 Sb., o bezpečnosti a plynulosti provozu na pozemních komunikacích
- „Hygienické předpisy“, svazek 66/1990, Ministerstvo zdravotnictví a sociálních věcí, Avicenum
- Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů
- Zákon č. 22/1997 o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů
- Zákon č. 86/2002 o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší)
- Vyhláška 246/2001 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o požární ochraně (vyhláška o požární prevenci) - zpracování požární bezpečnostního řešení stavby tunelu
- ČSN 730875 Požární bezpečnost staveb - Navrhování elektrické požární signalizace

- ČSN 342710 Předpisy pro zařízení elektrické požární signalizace
- Metodická příručka „Zásady pro dopravní značení, bezpečnost a integraci tunelů do řízení komunikačního systému v hl. m. Praze“, ÚDI Praha, červen 2002
- Metodický pokyn „Technicko-ekonomické hodnocení výstavby tunelů pozemních komunikací“, MDS, 2001, zpracovatel ILF Praha
- ČSN EN 1838 „Světlo a osvětlení – Nouzové osvětlení“
- TKP 7 „Technické kvalitativní podmínky pro dokumentaci staveb pozemních komunikací“, Pragoprojekt 1998
- Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network, Brussels, 29 April 2004



Úvod

Tunel pozemní komunikace, ve městě, příměstských oblastech i volné krajině, je součástí komunikační sítě a dopravní poměry v tunelu odpovídají v zásadě dopravním poměrům na komunikaci. Tunel je ovšem zvláštní dopravní stavbou z hlediska svých vyšších investičních a provozních nákladů. Na tunely je nutno pohlížet jako na integrální součást komunikačního systému, vytvářející nejslabší článek z hlediska bezpečnosti. Vždy je třeba hledat optimalizaci bezpečnostních, ekonomických, sociálních a ekologických dopadů. Investor se tedy musí zabývat i souvislostmi, které překračují rámec běžné analýzy náklady/přínosy.

Tunely jsou často posuzovány jako uzavřený celek, obvykle jsou ale podstatnou součástí ekologického systému. Jejich přínos nelze někdy vyjádřit v penězích, ale přínos se projevuje v kvalitativních ukazatelích, jako je snížení exhalací, snížení hlukových emisí, v menších zásazích do krajiny apod. Čím se uvažuje delší časový horizont, tím dále do pozadí ustupují investiční náklady a do popředí vystupují ekologické hodnoty.

Na první pohled jasné přínosy tunelů plynou ze zvýšení přepravní kapacity a rychlosti, dosahovaných bez dalších nároků na prostor zabraný komunikací a jejich křižovatkami. Znečištění městských ulic s největšími koncentracemi dopravy je již nyní často vyšší, než stanovují hygienické normy. Výstupy z ventilačních jednotek tunelů jsou proto směřovány od obydlených center a tunely tak mohou přispět ke snížení celkové úrovně znečištění ovzduší.

Při zvažování ekonomických přínosů výstavby tunelu je třeba uvažovat i s využitím pozemků a zachováním budov, které by byly zabrány při povrchové výstavbě. Výstavba povrchové kapacitní komunikace si obvykle vyžádá značný zábor plochy a tím může vytvořit z komunity v dané lokalitě izolované ostrovy. Při plánování výstavby tunelu je nutné brát v úvahu i využití pozemků a zajištění přístupu k nim.

Případný maximální možný přínos plynoucí ze stavby tunelu pozemní komunikace je třeba zkoumat již ve velmi rané fázi plánování a projektování. Je třeba velmi citlivě vybírat oblasti, které jsou vhodné pro výstavbu tunelů, např. z geologického hlediska. Zahrnutím všech těchto hledisek lze provést celkovou optimalizaci komunikačního systému. V případech, kdy se tyto úvahy na začátku plánování neprováděly, došlo k menším celkovým přínosům stavby.

Konečně a v neposlední řadě, se důležitá otázka týká také nejlepšího využití technických prostředků. Již mnohokrát se ukázalo, že nejlevnější řešení je ze střed-

nědobého, někdy dokonce i krátkodobého pohledu to nejdražší. V těchto technických podmínkách jsou shrnuty zkušenosti z výstavby a provozování tunelů v České republice i zahraniční zkušenosti a jsou do nich, na základě vyhodnocení, zapracována i ustanovení vybraných zahraničních předpisů. Velkým přínosem jsou zvláště sborníky vydávané v rámci mezinárodních konferencí Světové silniční asociace AIPCR/PIARC.

Tyto TP jsou plně v souladu s evropskou směrnicí „Directive of the European Parliament and of the Council on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network“ vydanou v dubnu 2004.

Cílem technických podmínek je stanovení zásad pro projektování technologie tunelů pozemních komunikací tak, aby tunel byl ekologickou a ekonomickou stavbou, zajišťující vysoký stupeň bezpečnosti pro dopravní veřejnost.

I. Technologické vybavení tunelu

V zásadě lze dělit tunelové dílo na stavební a technologickou část. Technologie tunelu se dělí na hlavní celky:

- Dopravní systém
- Bezpečnostní systém
- Technická zařízení zabezpečující funkčnost tunelu

Výchozím materiálem pro projektování tunelů pozemních komunikací je norma ČSN 73 7507 „Projektování tunelů pozemních komunikací“. Tyto technické podmínky z této normy vycházejí a členění shodně technologické vybavení tunelu na:

- Dopravní systém
- Osvětlení
- Větrání
- Bezpečnostní systém
- Spojovací a dorozumívací zařízení
- Protipožární zabezpečení
- Systém videodohledu
- Řídicí systém
- Zásobování elektrickou energií

Technologie tunelů je tedy dělena dle funkčních vlastností, přičemž mezi jednotlivými systémy existují vzájemné úzké vazby. Do technologického vybavení patří i vodní hospodářství a zařízení pro servis a údržbu. Oba tyto systémy technické podmínky TP98 neřeší.

1.1 Funkční dělení technologie tunelu

Na obr. 1-1 je základní funkční členění technologického vybavení tunelu a jeho možné vazby na nadřazený systém. Technologie je zásadně členěna dle jednotlivých funkcí na dopravní systém, vzduchotechnický systém atd., přičemž každý z těchto bloků je tvořen jednotlivými technickými prostředky - senzory měřícími dopravní veličiny, dopravními značkami řídícími tok dopravy apod., v případě dopravního systému. Pokud technické prostředky souvisí s více funkčními bloky, jsou zařazeny dle vyššího stupně příslušnosti k danému systému. Pokud například výstup ze senzoru měřícího intenzitu dopravy, který je základem pro vytváření dopravního modelu v dopravním systému, slouží zároveň jako pomocný parametr pro korigování chodu ventilačního zařízení, přísluší tento senzor logicky do dopravního systému.

1.2 Tunel jako telematický systém

Všechny funkční bloky tunelu jsou navzájem integrovány prostřednictvím SCADA řídicího systému a zároveň je tunel integrován do systému řízení dopravy v oblasti nebo na úrovni útvaru. Telematická aplikace na úrovni tunelu znamená, že veškeré vstupní a výstupní proměnné jsou k dispozici v libovolném čase a v libovolném režimu řídicího systému. Zároveň existuje jednotné telekomunikační prostředí pro komunikaci se všemi subsystémy tunelu i vnějšími systémy. Filozofie návrhu tohoto systému integruje sestavu různých zařízení, která tvoří jednotlivé funkční systémy (osvětlení, napájení, ventilace apod.) do jednoho celku s jednotným přístupem. Pro komunikaci mezi jednotlivými zařízeními jsou používány jednotné nástroje. V zásadě se nedoporučuje vytvářet řídicí systém „ze spodu“, jako soubor dílčích, samostatně řešených atomizovaných subsystémů.

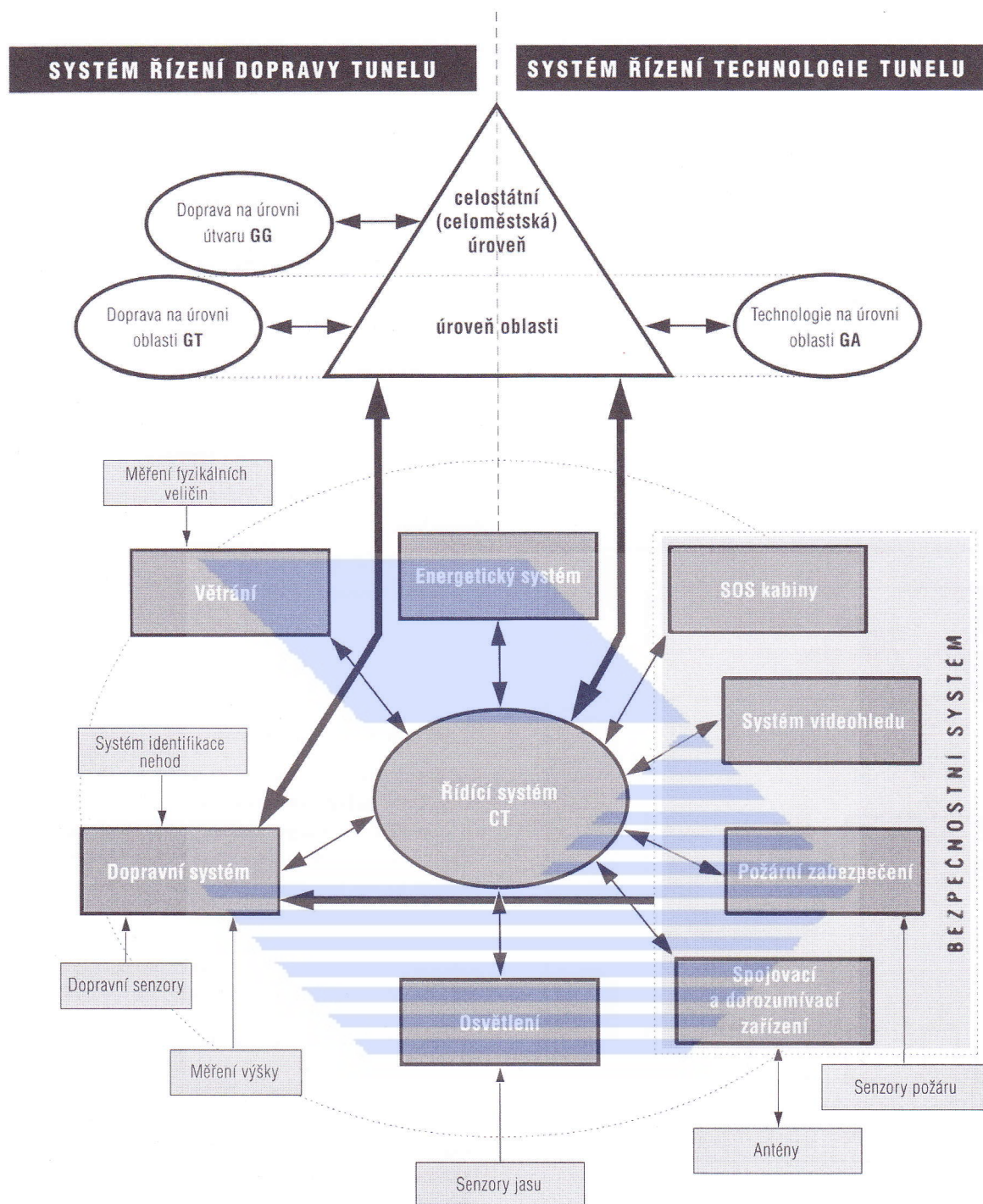
Velmi důležitou pozornost je nutné věnovat přesné definici „člověk-zařízení“. Snahou je vytvořit systém pracující v maximální míře automaticky. Přesto je v řadě mimořádných situací role operátora nezastupitelná a úkolem řídicího systému je poskytnout operátorovi, v případě krizových situací, právě potřebnou míru informací a nesaturovat ho jejich nadbytkem.

1.3 Začlenění tunelu do dopravního systému

Tunely na pozemních komunikacích jsou vždy součástí dopravního systému. Dopravní systém je pro účely těchto technických podmínek hierarchicky členěn do tří vrstev, obr. 1-2:

- úroveň uzlu,
- úroveň oblasti,
- úroveň útvaru.

Na nejnižší hierarchické úrovni je dopravní systém charakterizován dopravními uzly tvořenými relativně uzavřenými technologickými celky. V nejjednodušším případě je uzlem světelné signalizační zařízení na křižovatce, ale je jím i uzavřený parkovací systém, lokální varovná zařízení regulující charakteristiky jízdního proudu, lokální systém řízení dopravy v tunelu apod. Tunel může být řízen na úrovni uzlu například z lokálního velínu (CT), viz kap. 10.3. Je však nezbytné, aby byly vybrané informace přenášeny do vyšší vrstvy (úroveň oblasti) a tím integrovány do širšího dopravního systému.



Obr. 1-1: Subsystémy tunelu, jejich vzájemné vazby a začlenění tunelu do dopravního systému oblasti a útvaru z hlediska telematického přístupu

Vyšším nadřazeným celkem integrujícím řadu uzlů je oblast. Tu navrhuje dopravní expert na základě znalostí a s přispěním matematických metod.

Snahou je najít relativně uzavřené celky, s minimálními vazbami na okolí, přičemž v těchto oblastech musí být doprava charakterizována způsobem, který lze jednoznačně popsat. Z hlediska topologie se oblast dělí na:

- plošně uspořádanou,
- liniově (arteriálně) uspořádanou

Plošné uspořádání je charakteristické pro městské aglomerace, liniové pro tunely na dálnicích a silnicích.

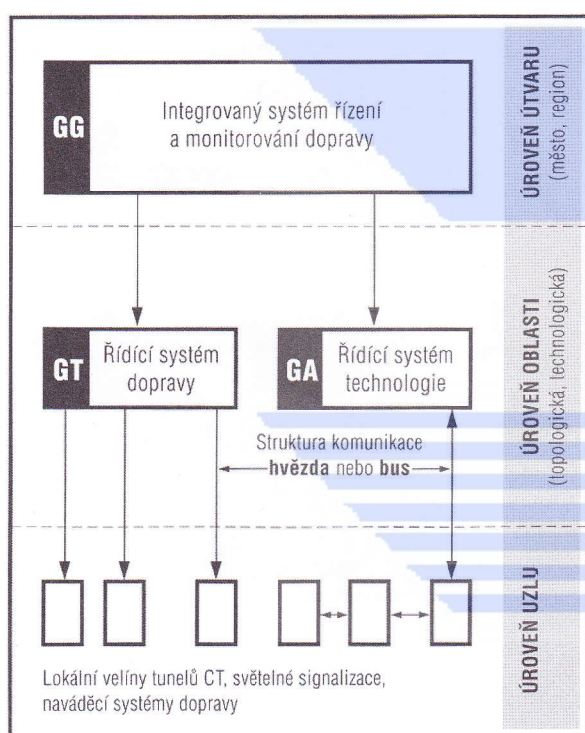
Na úrovni oblasti pracuje velín řízení dopravy v tunelech (GT), který zahrnuje řízení dopravy ve více tunelech, ať již uspořádaných v linii (dálnice) nebo v ploše (město), přičemž musí být začleněn do systému dopravního řízení celé oblasti, tvořený například světelnými signalizacemi. Tak lze řešit např. mimořádné situace v tunelu a jejich dopady na komunikační síť v oblasti,

vytváření objízdných tras, přepravu nebezpečných nákladů apod.

Na stejné úrovni oblasti pracuje velín řízení technologie tunelů (GA). Zde je soustředěn dohled nad technickým zařízením v tunelech a velín zabezpečuje i bezchybnou funkci všech technologických souborů, včetně dopravních zařízení.

Dopravní útvar je nejvyšším stupněm hierarchie řízení. Obecně obsahuje několik oblastí. Útvarem nemusí být jenom soubor oblastí v městské aglomeraci, ale i systém řízení dálnic na území státu nebo např. systém přepravy nebezpečných nákladů na úrovni nadnárodní.

Údaje z rozhodujících tunelů dálniční sítě, resp. z oblastních velínů by měly být přenášeny do centra řízení dálnic, městské tunely musí být součástí integrovaného systému řízení dopravy ve městě.



Obr. 1-2: Hierarchie řídicích systémů dopravy

1.4 Metodika návrhu funkčního celku

Jednotlivé technologické celky tunelu lze rozdělit do dvou skupin. V první jsou soubory, které lze navrhnout exaktně, ve druhé skupině jsou soubory, které nelze navrhnout ani výpočtem ani modelováním, ale vychází se ze zkušeností expertů. Při návrhu se tedy postupuje dvěma metodami:

Metoda exaktního návrhu

Některé technologické soubory navrhuje projektant exaktními metodami:

- výpočtem dle empirických vztahů,
- simulací systému, včetně zahrnutí okrajových podmínek,
- modelováním (matematickým, fyzikálním apod.),
- komparační metodou (porovnání se známým řešením).

Obecně má projektant kombinovat alespoň dvě metody. Řešení musí vždy zahrnovat i mezní stavy vyvolané jinými technologickými soubory i vazbami, časové odezvy systému a podmínky stability.

Technologické systémy, které lze navrhovat exaktními metodami jsou:

- Osvětlení tunelu
- Větrání tunelu
- Řídicí systém
- Zásobování elektrickou energií

Metoda expertního návrhu

Součástí technologického vybavení tunelu jsou i soubory, které nelze navrhovat na základě výpočtů. Jedná se hlavně o soubory sloužící k zajištění bezpečnosti účastníků provozu na pozemních komunikacích. Funkce těchto systémů je obvykle spojena s výskytem mimořádných situací typu požár, nehoda apod. Četnost a charakter těchto mimořádných událostí lze stanovit metodami oceňování rizik s využitím statistických metod analýzy historických událostí

Ve všech vyspělých „tunelových“ zemích se dlouhodobě sleduje výskyt těchto událostí v přepočtu na počet vozidel a ujeté kilometry. Takto byl také stanoven graf na obr. 2-1, ze kterého je nutné vyjít při plánování bezpečnostních zařízení v tunelu. Současně je nutné zahrnovat nové poznatky a trvale modifikovat podmínky bezpečnostní politiky.

II. Kategorizace tunelů z hlediska bezpečnostního vybavení

V ČSN 73 7507 se tunely dělí dle stavební délky a charakteru provozu na pozemních komunikacích. Toto dělení ale nemá přímou souvislost s technologickým vybavením tunelu. To je dáno u souborů dle kap. 1.4 příslušnými technickými, hygienickými a dopravními předpisy s respektováním ekonomických možností.

Bezpečnostní standard, kterému musí tunel vyhovovat, se určí na základě rozdělení tunelů z hlediska shodné kategorie bezpečnosti. Tyto kategorie jsou dány přibližně stejnou mírou bezpečnosti danou podílem počtu nehod na počet vozidel a ujetou vzdálenost, což je ověřováno dlouhodobými statistickými měřeními. Za tohoto předpokladu mají tunely všech tří, níže uvedených kategorií, přibližně shodný stupeň bezpečnosti.

Typ použitého technologického bezpečnostního vybavení je dán délkou tunelu a intenzitou dopravy. Tunely jsou rozděleny, z hlediska bezpečnosti, do tří kategorií: TA, TB a TC, podle obr. 2-1.

Intenzita dopravy je dána ročním průměrem denní intenzity ekvivalentních vozidel. Při separovaných dopravních proudech v oddělených tunelových troubach se počítá intenzita pro každou troubu zvlášť. Pro obousměrné tunelové trouby, případně pro trouby

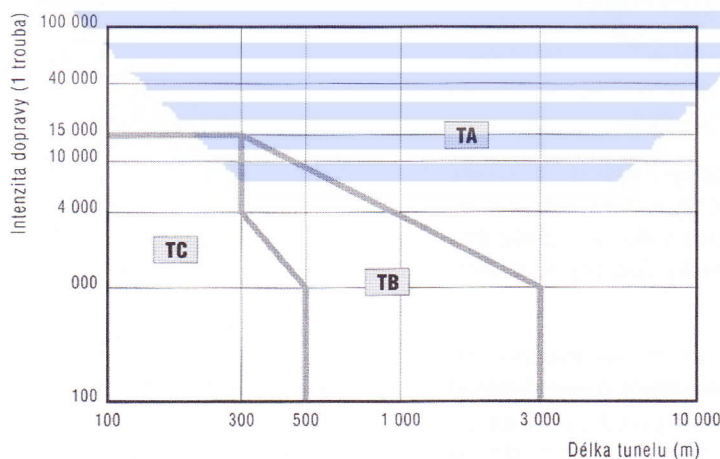
s kombinovaným režimem, se intenzity dopravy všech dopravních proudů sčítají.

Hodnoty intenzity dopravy respektující skladbu dopravního proudu se uvádějí v ekvivalentních vozidlech. Převodní koeficienty pro jednotlivé druhy vozidel jsou:

- osobní automobil	1,0
- motocykl	0,5
- nákladní automobil, autobus	1,7
- přívěsy a návěsové soupravy	2,5

Diagram na obr. 2-1 je platný pro tunelovou troubu s jedním nebo dvěma pruhy v dopravním pásu a příslušnou intenzitu dopravy. Tunel se třemi nebo více pruhy v jednom dopravním pásu je vždy navrhován v kategorii TA. Dále se tunel zařazuje o kategorii výše v případě připojování nebo odbočování vozidel v tunelové troubě. Kategorie se dále zvažuje individuálně, např. v případě, že nelze očekávat vysokou účinnost podélné ventilace díky směrovým obloukům v tunelu.

Základní dělení tunelů z hlediska bezpečnostního vybavení je na obr. 2-1:



Obr. 2-1: Kategorizace tunelů z hlediska bezpečnostního vybavení

Komentář ke grafu:

- Obě osy jsou v logaritmickém měřítku
 - rozsah intenzit 100 až 100 000 voz/den⁽¹⁾,
 - délka tunelu 100 až 10 000 m.
- Pro intenzity dopravy nižší než 1000 voz/den⁽¹⁾ se kategorizují tunely pouze podle délky:

Kategorie	TC	TB	TA
Délka [m]	100–500	500–3000	3 000–10 000

- Pro rozsah intenzity 1 000–4 000 (15 000) voz/den⁽¹⁾ se koriguje kategorie tunelu při dané délce v závislosti na intenzitě dopravy. Hraniční přímky v obr. 2-1 vyjadřují nelineární závislost mocninné funkce se záporným regresním koeficientem B tvaru

$$q = A \cdot l^{-B}$$

kde q intenzita dopravy [voz/den⁽¹⁾]

l délka tunelu [m]

A, B regresní koeficienty mocninné řady

- Pokud se předpokládají intenzity dopravy vyšší než 15 000 voz/den⁽¹⁾ jsou tunely zařazeny do kategorie TA.

Pozn.: ⁽¹⁾ Hodnoty intenzity dopravy se pro výpočty uvažují jako roční průměry denní intenzity ekvivalentních vozidel.

Vzhledem k návrhovému období pro bezpečnostní technologické vybavení tunelu, které je 15 let, je hodnota intenzity, pro zařazení tunelu do kategorie TA, TB a TC, přepočítávána pomocí predikčních koeficientů růstu automobilové dopravy na toto období.

Na základě přidělení tunelu do určité kategorie se tunel vybavuje povinně technickými prostředky nebo jsou tyto prostředky doporučeny, viz kap. 6.

Jednoznačným trendem je vzít při návrhu do úvahy všechny možné okolnosti, které mohou mít vliv na bezpečnost provozu a navrhovat vybavení tunelu tak, aby byla bezpečnost pro účastníky dopravy na prvním místě.

Projektant vždy uvažuje při návrhu bezpečnostního systému tunelu v obci nebo v extravilánu s typem pozemní komunikace, složením dopravního proudu, s přepravou nebezpečných nákladů a se všemi dalšími možnými faktory, které mohou mít vliv na bezpečnost.

2.1 Krátké tunely

Ve smyslu normy ČSN 73 7507 „Projektování tunelů pozemních komunikací“ patří do kategorie krátkých tunelů ty, jejichž délka nepřesahuje 300 m. Tyto TP98 definují z hlediska shodné bezpečnosti tunely již od délky 100 m, viz kap. 2.

Pro hloubené tunely do délky 100 m v zásadě platí mostní norma ČSN 736201. Tyto tunely nejsou vybavovány řídicím ani bezpečnostním systémem, pokud to nevyplývá z dopravního řešení či z jiných odůvodněných požadavků.

Osvětlení tunelů/podjezdů délky ≥ 25 m se řídí těmito technickými podmínkami, viz příloha A.

III. Dopravní systém

Řízení dopravy v tunelu pozemní komunikace je realizováno senzory a aktory a řídicím systémem, jehož popis je v kap. 10. Senzory jsou zařízení měřící dopravní a fyzikální veličiny. Jedná se např. o indukční smyčku měřící intenzitu dopravy nebo čidlo námrazy. Aktory jsou zařízení, která jsou umístěna v zorném poli řidiče a ovlivňují způsob jízdy. Typickým příkladem je světelné návěstidlo nebo proměnná dopravní značka.

V této kapitole jsou charakterizovány dopravní režimy v tunelu a jsou doporučena zařízení zabezpečující dopravní režim. V zásadě platí, že řidič je povinen zachovávat při jízdě v tunelu pravidla provozu na pozemních komunikacích.

Ve shodě s kap. 1.3 je tvořen dopravní systém tunelu i přílehlými úseky pozemní komunikace před portály, kde jsou umístěny dopravní značky a dopravní zařízení řízená řídicím systémem tunelu nebo jsou zde situovány senzory nezbytné pro řízení dopravy v tunelu. Rozsah integrace předportálových úseků do dopravního systému tunelu je dán vždy bezpečnostním návrhem a závisí i na dopravním řešení celé oblasti.

3.1 Dopravní stavy tunelu

Již samotný vjezd do tunelu vyvolává u některých řidičů specifické problémy dané pocitem uvěznění a klaustrofobie, zhoršeným odhadováním vzdálenosti a rychlosti, monotónností vjemu okolí a ztráty představy, kde se nachází. Kromě toho je zvýšena psychická zátěž představou možného požáru nebo následku nehody. Pomocí dopravně technických zařízení je proto nutné, jak v normálních případech, tak i při dopravním excessu zajistit bezpečnou jízdu.

Nezbytnou součástí projektové dokumentace tunelu je dopravní řešení, kde jsou detailně zpracovány veškeré dopravní stavy s využitím stavových a časových diagramů, kap. 3.1.1 a kap. 3.1.2, s vazbami na systém dopravy v oblasti.

Při řádné činnosti všech zařízení a plynulém dopravním toku se tunelový dopravní systém nachází v tzv. řádném stavu. Definice řádného, zvláštního, mimořádného a havarijního stavu je v TP154, kap. IV.

Řádný stav je charakterizován bezproblémovou činností technologie, nevyskytují se dopravní problémy a v tunelu nebo ve služebních prostorách se neprovádí údržba ani opravy.

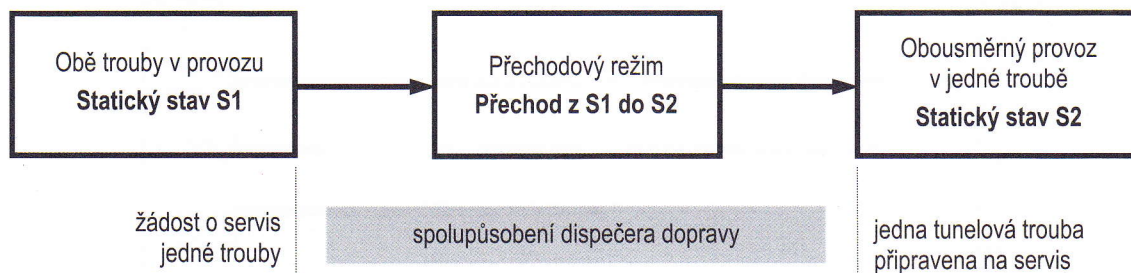
V tunelu však mohou nastat zvláštní, mimořádné a havarijní dopravní stavy, ovlivněné například:

- výpadkem větrání, osvětlení, dopravního značení nebo jiných technologických souborů,
- dopravní nehodou, zastavením vozidla nebo ztrátou nákladu,
- požárem,
- dopravní kongescí,
- zhoršením fyzikálních podmínek nad dovolené meze,
- údržbou, čištěním,
- zaplavením vozovky nebo jinými přírodními vlivy,
- únikem přepravované nebezpečné látky apod.

Dopravní stav je hlavním činitelem, určujícím režim provozu tunelu (normální, zvláštní nebo nouzový) - viz ČSN 73 7507.

Při výskytu zvláštního, mimořádného nebo havarijního stavu nebo při plánovaných zvláštních situacích (servis) se dopravní systém dostává do přechodového režimu, kdy doprava přechází z výchozího statického stavu do jiného statického stavu. Grafická představa pro případ uzavření jedné trouby pro servis je na obr. 3-1.

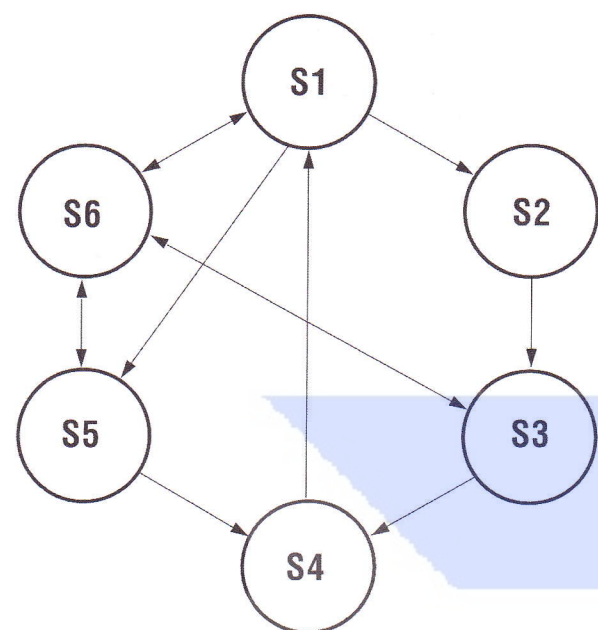
Kombinovaný režim je charakterizován tím, že na stavovém přechodu má většinou účast dispečer dopravy, který potvrzuje jednotlivé sekvence přechodu. V této fázi má i zvláštní význam videodohled.



Obr. 3-1: Stavový diagram přechodu ze statického stavu S1 (jednosměrný provoz) do statického stavu 2 (obousměrný provoz)

3.1.1 Stavové diagramy

Pro exaktní popis činnosti dopravního systému ve všech stavech se požaduje zpracovat ve formě grafu ve stavové rovině jednotlivé přípustné stavové přechody. Příklad je na obr. 3-2.

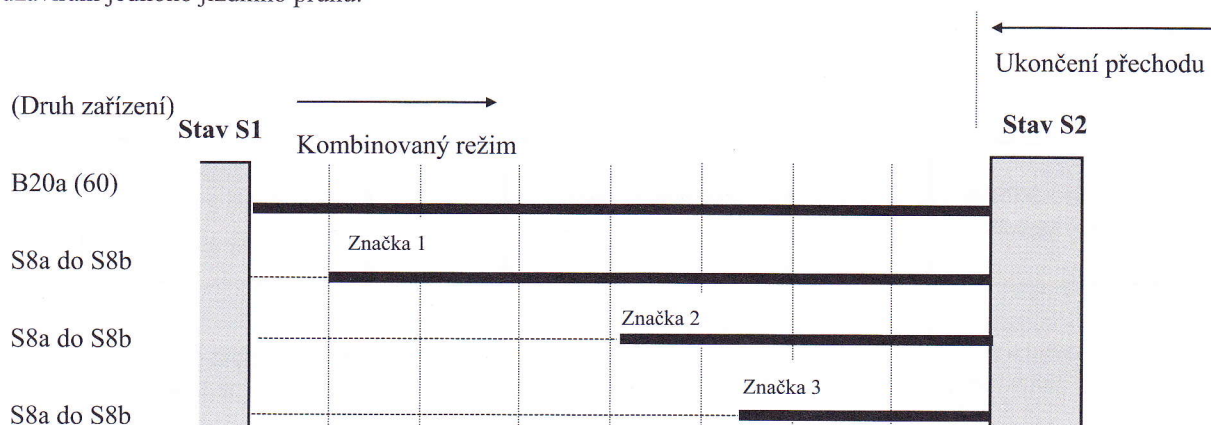


↔ obousměrný stavový přechod
→ jednosměrný stavový přechod

Obr. 3-2: Diagram stavových přechodů mezi dopravními režimy

3.1.2 Časové diagramy

Požaduje se zpracovat i časové diagramy popisující časovou závislost vykonávaných stavových přechodů v rámci kombinovaného režimu. Na obr. 3-3 je doporučený tvar časového diagramu znázorňující hypotetické uzavírání jednoho jízdního pruhu.



Obr. 3-3: Časový diagram přechodu dopravního režimu z S1 do S2

Dopravně inženýrský návrh bere v úvahu následující požadavky:

- ① V normálním průběhu provozu je bezpečnost a plynulost dopravy udržována stabilizací a regulací dopravního toku (SSZ, dopravní značka č. B20 a).
- ② Při plánovaném omezení, např. při údržbářských pracích, je nutno předem zajistit organizaci dopravy pomocí zařízení instalovaných v tunelu nebo s pomocí přenosných a mobilních dopravních značek a zařízení, viz TP154.
- ③ Případy zvláštních, mimořádných a havarijních režimů, například při nehodě, zastavení vozidla, požáru musí být zpracovány do provozní dokumentace tunelu (TP154, kap. I „Provozní dokumentace“). Pokud nelze zajistit provoz dopravními opatřeními je nutno řešit odvedení dopravy náhradní trasou a zajistit co nejdříve odstranění poruchy.

Druh a rozsah dopravního značení a dopravních zařízení pro ovlivňování provozu se řídí podle stavebních a dopravně technických podmínek, jakož i podle zvoleného stupně automatizace řídicího dopravního systému. Do úvahy je nutno brát následující parametry:

- délku tunelu a jeho kategorii,
- příčné uspořádání uvnitř i vně tunelu,
- návrhovou rychlost,
- možnosti nouzových pruhů nebo zálivů,
- druh provozu (jednosměrný nebo obousměrný),
- organizace dopravy na vjezdech a výjezdech,
- intenzitu provozu na pozemních komunikacích a jeho skladbu (podíl nákladních vozidel),
- dopravní struktura (dálkový provoz, regionální, místní provoz).

3.2 Dopravní značení a dopravní zařízení

Tato kapitola charakterizuje dopravní značení, počínaje svislými dopravními značkami, až po zařízení pro provozní informace, obzvláště se zřetelem na tunel na pozemní komunikaci. Vodorovné dopravní značky jsou řešeny ve smyslu vyhl. MDS č. 30/2001 Sb. a TP133. Hlavním cílem této kapitoly je poskytnout zjednodušené zásady pro implementaci značení a zařízení v tunelech a přilehlých úsecích komunikace a poskytnout přehled vlastností, kterým musí tato značení a zařízení odpovídat.

3.2.1 Zásady užití svislých dopravních značek

Svislé DZ se podle zobrazení dělí na:

- Svislé stálé dopravní značky.
- Svislé proměnné dopravní značky (lze volit z několika dopravních značek).

Stálé dopravní značky jsou charakterizovány neproměnnými symboly činné plochy (viz § 62 zákona 361/2000 Sb.). Naopak proměnné dopravní značky (dále PDZ) se vyznačují proměnlivostí činné plochy v závislosti na charakteru a požadavcích řízení. Změna se u PDZ provádí dvojím způsobem:

- mechanicky (překlápěním, otáčením atd.),
- světelně-elektricky (aktivací vyzařujících elementů na matici).

Z hlediska provedení činné plochy se v tunelech a přilehlých úsecích užívají dopravní značky:

- reflexní,
- reflexní, osvětlené vnějším světelným zdrojem,
- prosvětlované,
- světloemitující (LED, světlovodné).

Pro stálé dopravní značky se převážně využívá reflexní, reflexní osvětlené a prosvětlované provedení. Technické požadavky na retroreflexní materiál upravuje ČSN 01 8020 (nahrazena ČSN EN 12899-1). V tunelech a v přilehlých úsecích se v žádném případě nesmí používat nereflexní dopravní značení. Pro PDZ se používá světloemitující technologie (změna znaku světelně) nebo reflexní čelní plocha (změna znaku mechanicky).

Dopravní značky se používají ve velikostech podle ustanovení normy pro svislé značky pro daný typ pozemní komunikace. V tunelu je možné používat dopravní značky zmenšené o jeden stupeň v hierarchii – zvětšené, základní, zmenšené. V odůvodněných případech lze použít značení nestandardních rozměrů.

3.2.2 Technologie provedení PDZ a ZPI

Zobrazení dopravní značky na PDZ a informací na zařízeních pro provozní informace (ZPI) je dvojího druhu:

Spojité zobrazení: dopravní značka ve spojitém zobrazení je tvořena jednotlivými čarami a plochami a její barevnost je stejná jako u stálých dopravních značek. Text nebo symbol na ZPI je tvořen čarami nebo plochami. Změna symbolů se realizuje mechanickou změnou polohy jednotlivých částí dopravní značky. Změna se provádí:

- otáčením trojbokých hranolů,
- otáčením dvoustranné žaluzie,
- posouváním rolety se zobrazenými symboly,
- překlápěním štítu dopravní značky.

Čelní plocha je v provedení retroreflexního materiálu třídy 2.

Nespojitě zobrazení: vyznačuje se tím, že symbol nebo text na PDZ jsou složeny z jednotlivých bodových elementů, které mají nejméně dva stavy. Zobrazení je buď neinverzní, tzn. barevné provedení PDZ plně odpovídá stálé dopravní značce nebo v inverzním zobrazení, tzn. že podklad PDZ je tmavý a nápisy, symboly a ohraničení světlé. Umístění červené barvy je na PDZ shodné s jejím umístěním na stálých značkách. Pro zobrazení se používají následující technologie:

- světlovodná vlákna,
- světelné diody (LED),
- tekuté krystaly (LCD),
- bistabilní otočné elementy.

Podrobnější popisy a technické údaje jsou uvedeny v technických podmínkách TP141.

3.2.2.1 Stupeň krytí PDZ a ZPI

Skříň těchto zařízení musí vyhovovat požadavkům TP118 čl. 62 (nahrazeny ČSN EN 12899-1). Dopravní značky použité v tunelu mají stupeň krytí min. IP65. Optický kryt skříně je zhotoven z materiálu odolného UV záření a odolného proti poškrábání. Musí být zabráněno případnému zamlžování krytu a kondenzaci vody mezi krytem a čelní plochou zařízení.

3.2.2.2 Doba změny PDZ a ZPI

- pomalá změna významu < 10 s,
- střední < 3 s,
- rychlá < 1 s.

Dopravní značky, využívající světelný princip pro změnu symbolů a zařízení pro provozní informace, mají

dobu změny do 1 s, dopravní značky s mechanickou změnou symbolu mají dobu změny do 10 s.

3.2.3 Volba dopravního značení a dopravních zařízení

Tunel je vybavován v kategoriích:

- minimální vybavení krátkých tunelů,
- minimální vybavení,
- základní vybavení,
- rozšířené vybavení.

Vybavení závisí i na celkovém dopravním řešení oblasti či linie. Konečné řešení je dáno i případnými požadavky na obousměrný provoz v jedné tunelové trubě a celkovým bezpečnostním konceptem. Základní orientaci poskytují následující kapitoly.

Pro výběr vybavení je možné použít obr. 3-4 s přihlédnutím k následujícím kritériím, lit. [4]:

- délka tunelu (délka několika následujících tunelů),
- intenzity dopravy,
- přípustné nejvyšší rychlosti.

Odchyłky ve vybavení mohou být ovlivněny specifiky daného řešení. Jedná se například o posouzení:

- parametrů komunikací před a za tunelem, např. úrovnových křižovatek před a za tunelem, řízení křižovatek SSZ,
- charakteristik úseků v tunelu, např. světlost, poloměry oblouků, stoupání nebo klesání,
- existence odstavných pásů a nouzových zálivů,
- možností objížděky tunelového úseku,
- předpokládané hodnoty nehodovosti,
- složení dopravního proudu a další parametry.

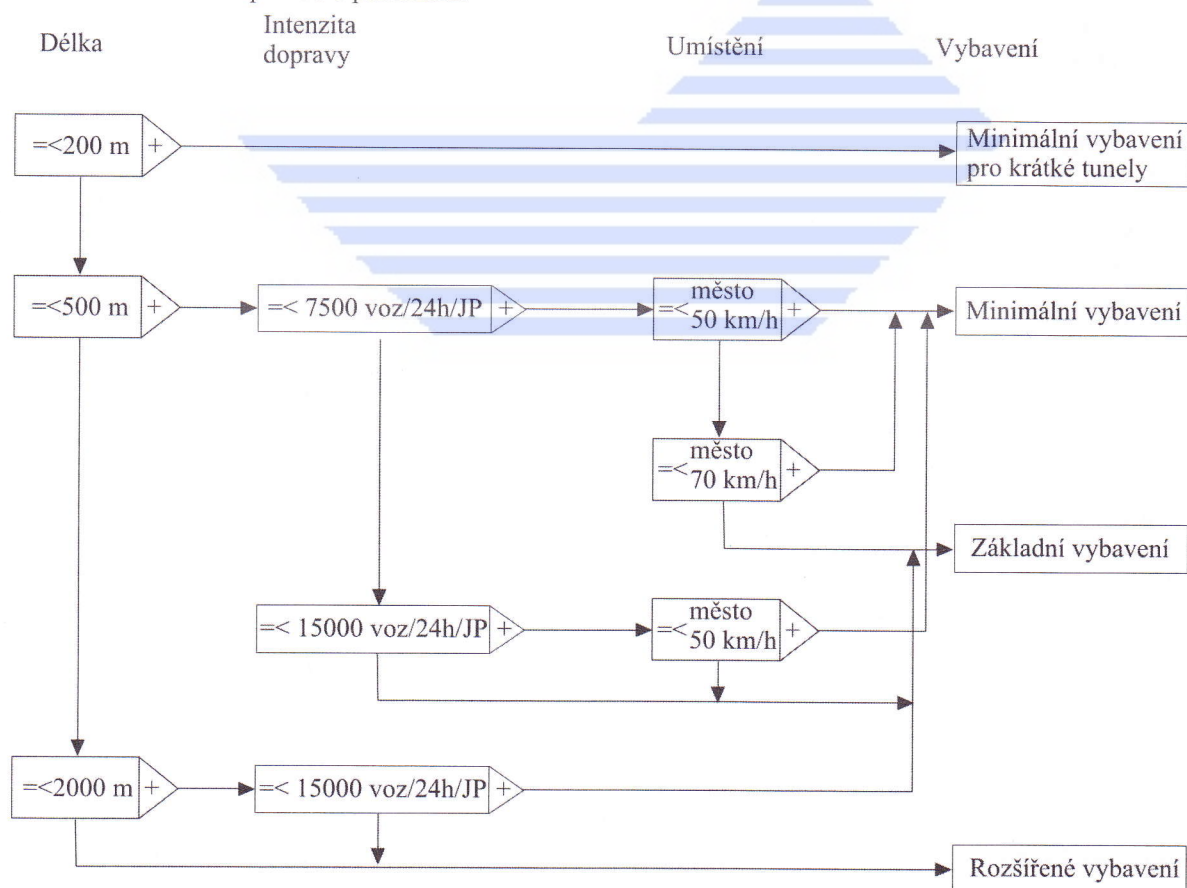
3.2.3.1 Minimální vybavení

Minimální vybavení krátkých tunelů

Minimální vybavení, je obvykle navrhováno pro tunely do 200 m délky a nízkou intenzitu dopravy ekvivalentních vozidel ($\leq 1\,000$ vozidel za 24 hod.).

Toto vybavení zahrnuje svislé stálé dopravní značky:

- „Nejvyšší dovolená rychlost“ B20a,
- „Zákaz předjíždění“ (u obousměrných tunelů) B21a,
- „Tunel“ IP8a,
- „Rozsviř světla“ C13a,
- „Konec všech zákazů“ B26,



Obr. 3-4: Kriteria pro vybavení tunelu z hlediska dopravního značení a zařízení, lit. [4]

případně další dopravní značky, vyplývající z dopravního řešení:

- „Zákaz vjezdu vozidel jejichž výška přesahuje vyznačenou mez“ B16
- „Zákaz předjíždění pro nákladní automobily“ B22a.

Při návrhu dopravního značení se vychází z TP65 „Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích“ a dále se využívá ČSN 01 8020 „Dopravní značky na pozemních komunikacích“.

Minimální vybavení krátkých tunelů neumožňuje dálkově ovlivňovat dopravu, např. zastavením nebo přesměrováním vozidel.

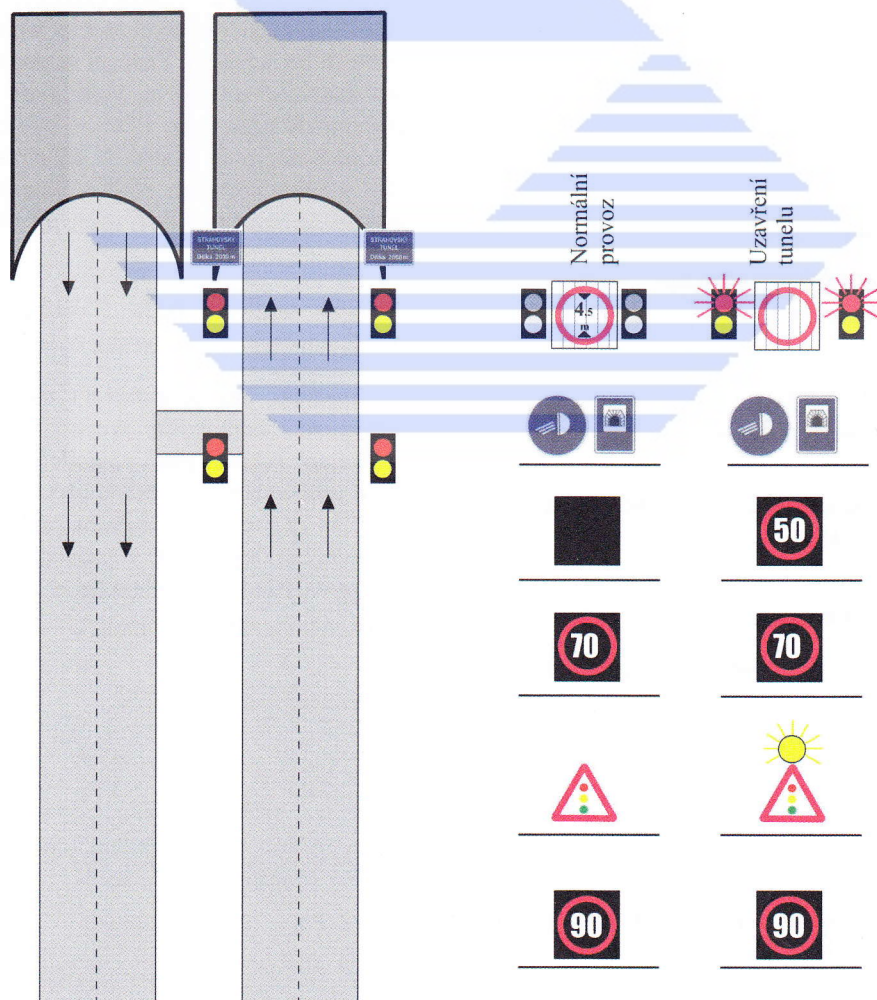
Minimální vybavení tunelu

Minimální výbava musí být instalována v ostatních tunelech, obr. 3-5, lit. [4]. Skládá se ze svislých stálých a proměnných dopravních značek před a za tunelem:

- „Zákaz vjezdu všech vozidel“ B1,
- „Nejvyšší dovolená rychlost“ B20a,
- „Světelné signály“ A10,

- „Zákaz předjíždění
 - všeobecně v tunelech s protisměrnou dopravou (B21a „Zákaz předjíždění“)
 - pro nákladní auta: B22a „Zákaz předjíždění pro nákladní automobily“
 - „Konec všech zákazů“ B26,
 - „Rozsviť světla“ C13a,
 - „Tunel“ IP8a,
 - „Jiný název“ IS15b,
 - pro tunely se zmenšenou výškou pod 4,5 m: B16 „Zákaz vjezdu vozidel jejichž výška přesahuje vyznačenou mez“,
 - „Signál s červeným světlem Stůj!“ S1a,
 - „Signál se žlutým světlem Pozor!“ S1b,
- jako dodatečná informace při uzavření tunelu (v případě potřeby):

- „Přerušované žluté světlo“ č. S7 umístěné nad dopravní značkou č. A10, které je zapnuto při aktivaci „Světelného signálu“ č. S1a (uzavření tunelu), v případě, že není dopravní značka A10 použita jako PDZ,



Obr. 3-5: Minimální vybavení tunelu, lit. [4]

- proměnná dopravní značka (např. č. B2 „Zákaz vjezdu všech vozidel“ s údajem o vzdálenosti) k podpoře bezpečného uzavření tunelu.

Uvnitř tunelu nejsou zpravidla projektovány žádné další dopravní značky. Pozice dopravních detektorů jsou dány dopravním řešením.

V tunelech kratších než 300 m se může v odůvodněných případech upustit od použití „Přerušovaného žlutého světla“ č. S7, DZ „Světelné signály“ č. S1a/S1b a PDZ č. B1/B2.

U tunelů s jednosměrným provozem jsou před portály zřízeny zpevněné přejezdy proto, aby bylo možné, v případě potřeby, přesměrovat automobily stojící před portálem v případě uzavření tunelu při nehodě. Tato opatření však vyžadují předem připravit scénáře, dle kterých se vykonávají. Většinou je vyžadována spoluúčast policie. Na obr. 3-5 je uveden pouze příklad, jaká je možná posloupnost dopravních značek při minimálním vybavení tunelu.

3.2.3.2 Základní vybavení

Základní vybavení tunelu se projektuje u tunelů kategorie TC a TB, s přihlédnutím k obr. 3-4. Možný příklad základního vybavení je na obr. 3-6, lit. [4]. Oproti minimálnímu vybavení přibývají dopravní značky a zařízení:

- „Dopravní vysílání“ č. IJ15,
- detektory pro měření dopravních dat,
- mechanické zábrany (závory) pro uzavření provozu,
- další PDZ mimo tunel i v tunelu (při délce ≥ 600 m),
- systém videodohledu,
- hlásky nouzového volání (kabiny SOS),
- zařízení pro provozní informace.

Pro instalování dopravních detektorů a měření dopravních dat, videodohled a hlásky nouzového volání platí tyto technické podmínky.

3.2.3.3 Rozšířené vybavení

Rozšířené vybavení se převážně používá u tunelů bezpečnostní kategorie TA, s přihlédnutím k obr. 3-4. Zde jsou používány světelné signály pro jízdu v pruzích, řada dalších proměnných dopravních značek a soustava dopravních značek pro přesměrování dopravy mezi tunelovými troubami. Příklad rozšířeného vybavení je na obr. 3-7, lit. [4].

Příklady, pokyny a doporučení pro instalaci těchto zařízení jsou v následující kap. 3.2.4 až 3.2.7.

3.2.4 Svislé dopravní značky

3.2.4.1 Způsob použití v tunelech a přilehlých úsecích

V tunelech a v přilehlých úsecích komunikace se používají svislé stálé i proměnné dopravní značky v závislosti na dopravních a bezpečnostních podmínkách na základě dopravně inženýrského návrhu a doporučení v kap. 3.2.3. V této kapitole jsou uvedeny některé další zásady pro jejich užití a umístění. Ve smyslu výše uvedeného se jedná o stálé dopravní značky reflexní či prosvětlované a proměnné dopravní značky spojitě a nespojitě.

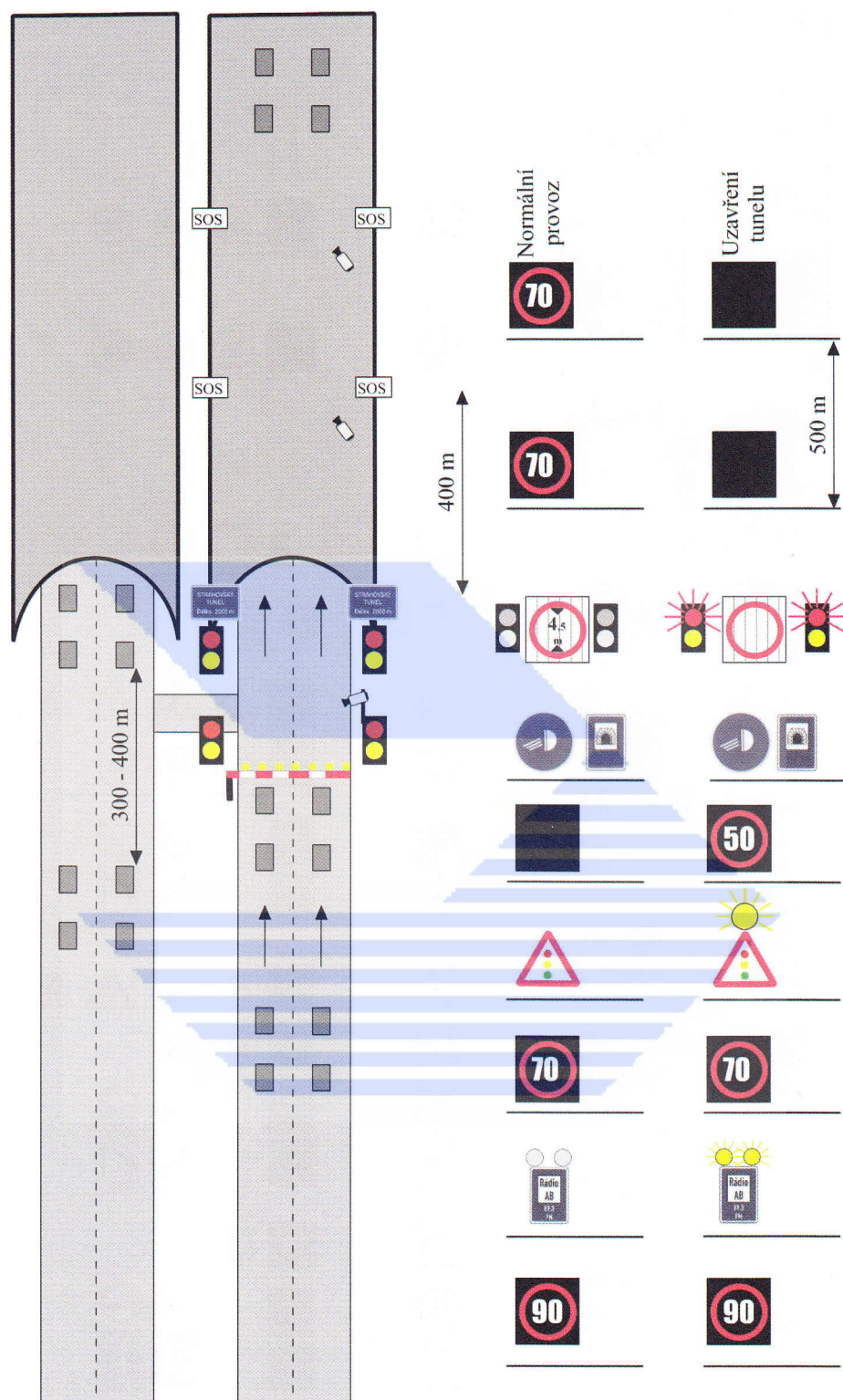
Způsob použití svislých dopravních značek:

Výstražné dopravní značky: Použití výstražných dopravních značek v tunelu by mělo být pokud možno omezené, a je vhodnější tyto dopravní značky umístit ve smyslu kap. 3.2.8.

Zákazové dopravní značky: Dopravní značka č. B20a „Nejvyšší dovolená rychlost“ se v tunelu používá ve světloemitujícím provedení (světlovodná vlákna, světelné diody) jako dopravní značka proměnná (snižování rychlosti po skocích). Značení se doporučuje opakovat ve vzdálenosti po 500 m. Ve stejném provedení (světloemitující) nebo jako PDZ se spojitým zobrazením se umístí dopravní značka č. B20a ve vzdálenosti do 200 m před portálem tunelu. Tato dopravní značka umožní snižovat rychlost, např. při výpadku osvětlení tunelu.

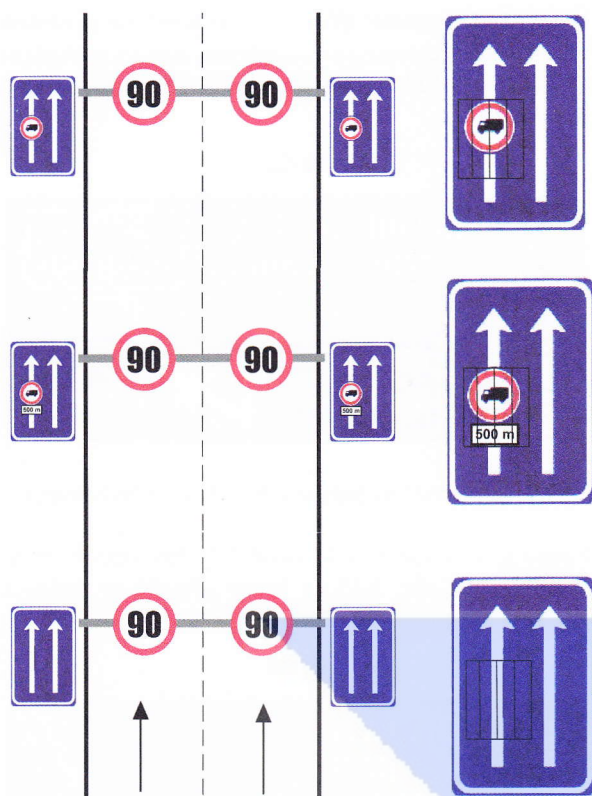
Dopravní značky č. B22a „Zákaz předjíždění pro nákladní automobily“ lze použít ve smyslu TP141.

V případech, kdy je nutné ve městě, například pro harmonizaci dopravního proudu, v jistých časových intervalech zakázat jízdu nákladních automobilů v určitém pruhu/pruzích je nutné užít informativní značku č. IP21a „Omezení v jízdním pruhu“, se symbolem dopravní značky č. B4 v provedení PDZ. Dopravní značka č. IP21a se v reflexním provedení umísťuje po stranách průjezdního průřezu, viz obr. 3-8.



Obr. 3-6: Základní vybavení tunelu, lit. [4]

28



Obr. 3-8: Příklad použití dopravní značky „Omezení v jízdním pruhu“ a dopravní značky „Zákaz vjezdu nákladních automobilů“ v kombinaci s dopravními značkami „Nejvyšší dovolená rychlost“

Pokud je to účelné, označuje se příslušnými dopravními značkami zákaz vjezdu jízdních kol, zákaz vjezdu potahových vozidel, zákaz vstupu chodců, zákaz vjezdu pro jezdce na zvířeti apod., a to bezprostředně v oblasti portálu. Tyto dopravní značky lze nahradit jedinou dopravní značkou zákaz vjezdu vyznačených vozidel (mimo DZ č. B30 a B31). Tyto dopravní značky musí být v reflexním provedení.

Výškové omezení, dopravní značka č. B16 „Zákaz vjezdu vozidel, jejichž výška přesahuje vyznačenou mez“ se umísťuje opakovaně na příjezdu k tunelu, a to ještě před místem, kde má vozidlo přesahující vyznačenou výšku možnost odbočit. Dále se umísťuje PDZ ve světloemitujícím provedení za místem měření výšky. Pokud je porušen zákaz vjezdu, dopravní značka č. B16 se aktivuje spolu se signálem č. S7 a aktivují se další opatření ve smyslu kap. 3.2.7.2. Značku aktivuje řídicí systém prostřednictvím zařízení pro detekci výšky vozidel.

Příkazové dopravní značky: Používají se jako proměnné dopravní značky pro vyznačení změn dopravního režimu v tunelu. Jedná se zejména o dopravní značky č. C2 a č. C3 „Příkazovaný směr jízdy“ nebo dopravní značku č. C4 „Příkazovaný směr objíždění“. Pozice těchto

dopravních značek a jejich zobrazení vyplývá z dopravního řešení. Dopravní značka č. C4 se umísťuje bezprostředně před místem objíždění. V tunelu se používají dopravní značky reflexní osvětlené nebo prosvětlené.

Dopravní značka č. C14a „Jiný příkaz“ s textem „Vypni motor“ ovládaná řídicím systémem tunelu je umístěna v tunelech všech kategorií ve vzdálenostech po cca 150 m. Dopravní značka je prosvětlená. Pokud není značení v aktivním stavu není nápis zřetelný.

Před vjezdem do tunelu a po výjezdu z tunelu se umísťují stále dopravní značky č. C13a „Rozsviť světla“ a č. C13b „Rozsviť světla-konec“.

Informativní dopravní značky: Používají se pro označení tunelu, telefonů, nouzových stání, délky tunelu, ale oznamuje se i frekvence, na které je možné přijímat rozhlasové (dopravní) vysílání.

Před vjezdem do tunelu a po výjezdu z tunelu se umísťují stále dopravní značky č. IP8a „Tunel“ a č. IP8b „Konec tunelu“.

Před každým vjezdem do tunelu je pod značkou č. IP8a umístěna stálá informativní dopravní značka č. IS15b „Jiný název“ s textem vyjadřujícím název tunelu a jeho délku.

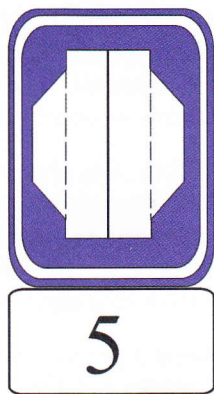
Před každým nouzovým zálivem, ve vzdálenosti cca 50 m, je prosvětlená informativní dopravní značka č. IP9 „Nouzové stání“ v provedení dle obr. 3-9. U každé dopravní značky je na dodatkové tabulce číslo zálivu. Toto značení může být vyrobeno jako jeden celek.

Systém číslování musí být pro celý tunel nebo soustavu tunelů jednotný tak, aby bylo možné nouzový záliv jednoznačně identifikovat v rámci celé soustavy.



Obr. 3-9: Informativní dopravní značka pro vyznačení nouzového stání (č. IP9) s dodatkovou tabulkou

Pro otáčecí záliv je použita informační tabule s obdobným symbolem jako dopravní značka č. IP9, obr. 3-10.



Obr. 3-10: Informační dopravní značka¹⁾ pro vyznačení otáčecího zálivu s dodatkovou tabulkou

Pokud je umístěna hláska nouzového volání v nouzovém zálivu a není označena jinak, použije se informační tabule se symbolem vyznačeným na obr. 3-11.



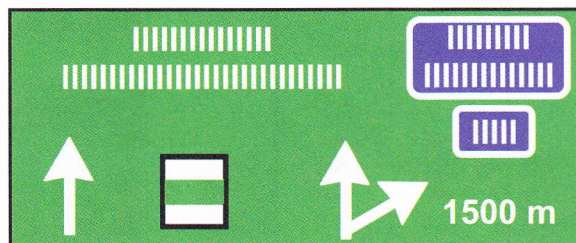
Obr. 3-11: Informační dopravní značka č. IP9 s vyznačením hlásky nouzového volání

Před tunel vybavený pro vysílání rozhlasové stanice se umísťuje (opakovaně) stálá informační dopravní značka informující o rozhlasové stanici přenášející dopravní informace v tunelu a o jejím kmitočtu č. IJ15 „Dopravní vysílání“. Toto značení je doplněno dvěma světelnými signály č. S7 „Přerušované žluté světlo“. Signály jsou aktivovány řídicím systémem při vysílání zprávy týkající se dopravy v daném místě.

Orientační dopravní značení: V tunelech je obvykle omezen prostor pro umísťování směrových tabulí a návěstí. Navíc rozměrné tabule narušují aerodynamiku u podélného větrání. Proto u tunelů s rozpletem (přípojný/odbočovací pruh) nebo v případech, že přípojný nebo odbočovací pruhy za tunelem nejsou v dostatečné vzdálenosti je možné použít i modifikace směrových tabulí a návěstí popsané v dalším textu.

Úsek před tunelem: Před tunel se umísťuje příslušná návěst před křižovatkou s označením cílů a v provedení dle TP100. Příklad „Návěst před křižovatkou“ je na obr. 3-12.

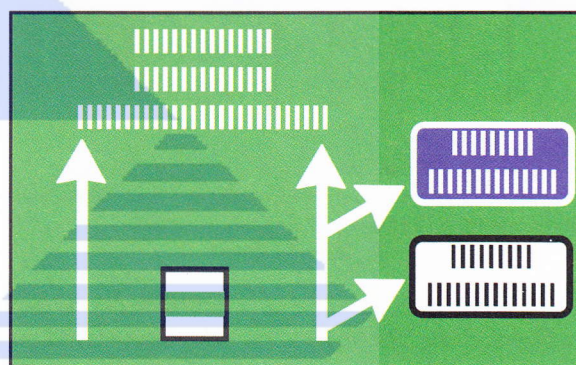
IS 6c



Obr. 3-12: Návěst před jednou křižovatkou (jedno odbočení)

Pokud je v tunelu více křižovek (odbočení), provádí se návěst dle obr. 3-13. V tomto případě se neudává vzdálenost k místu odbočení.

IS 6c



Obr. 3-13: Návěst před dvěma křižovatkami (dvě odbočení)

Úsek v tunelu: V tunelu se zásadně dává přednost použití upravených rozměrů dopravního značení, viz níže, kdy lze rozlišit dva základní případy:

- (a) **Vyznačení ve směru odbočení:** Je tvořeno dvojicí dopravních značek č. IS6g „Návěst před křižovatkou“, situovaných vždy nad příslušným jízdním pruhem a udávajících jedno cílové místo. První z dvojice udává vzdálenější cíl a návěst vzdálená do cca 50 m udává druhý bližší cíl. Dvojice dopravních značek se opakuje dvakrát a doporučená vzdálenost je cca 200 m. Na vlastním výjezdu je dopravní značka č. IS7 „Výjezd“. Situace je znázorněna na obr. 3-14.

Návěsti jsou provedeny jako proměnné dopravní značky, minimálně se dvěma polohami:

- s vyznačením příslušných směrů,
- bez nápisů a vyznačení směrů.

¹⁾ Tato značka není ve vyhlášce MDS č. 30/2001 Sb., je však analogií IP9 „Nouzové stání“

Druhá poloha (bez nápisů) se volí v případě, že je výjezd uzavřen (nehoda, stavební úpravy apod.).

Pouze v odůvodněných případech je za odbočením zopakován cíl ve směru přímo, dopravní značka č. IS6e, resp. č. IS8a.

(b) **Vyznačení jednoho cíle ve směru odbočení:** Je tvořeno značkou č. IS6g „Návěst před křižovatkou“, situovanou vždy nad příslušným jízdním pruhem a vyznačující daný cíl. Dopravní značka se opakuje dvakrát a doporučená vzdálenost je cca 200 m. Na vlastním výjezdu je dopravní značka č. IS7

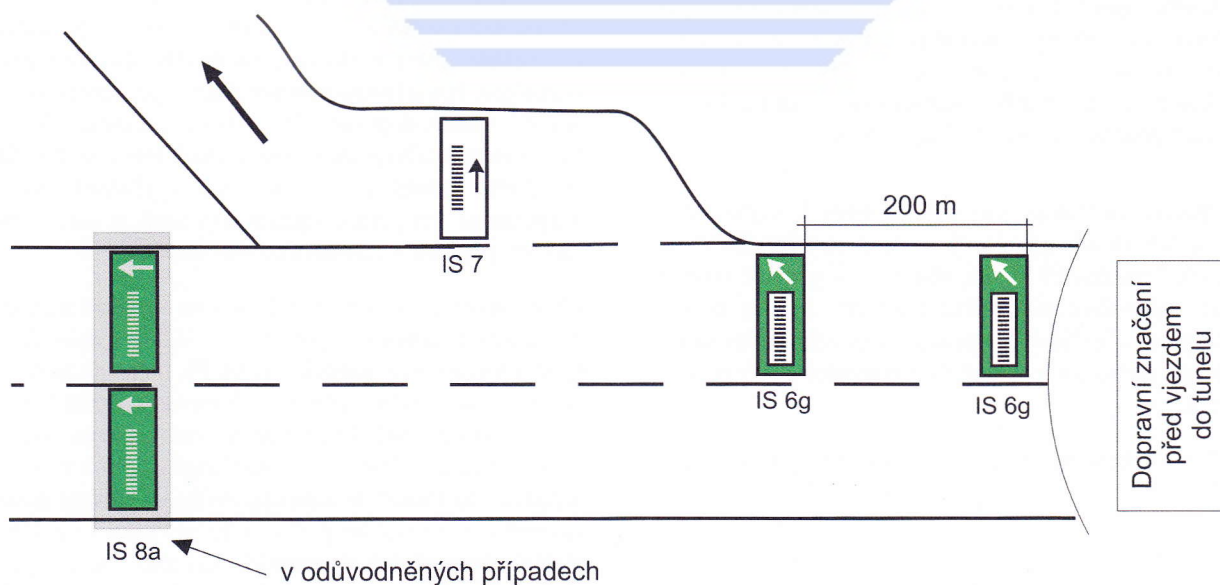
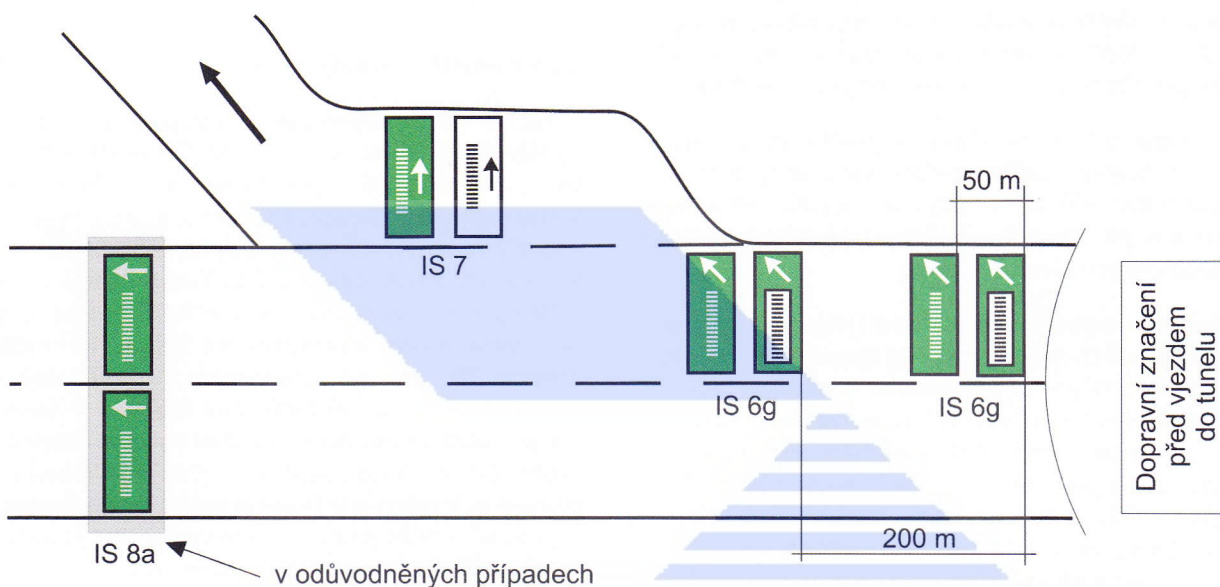
„Výjezd“. Situace je znázorněna na obr. 3-15.

Návěsti jsou provedeny jako proměnné dopravní značky minimálně se dvěma polohami:

- s vyznačením příslušných směrů,
- bez nápisů a vyznačení směrů.

Druhá poloha (bez nápisů) se volí v případě, že je výjezd uzavřen (nehoda, stavební úpravy apod.).

Pouze v odůvodněných případech je za odbočením zopakován cíl ve směru přímo, dopravní značka č. IS6e, resp. č. IS8a.



Pro použití orientačního značení v tunelu a přilehlých úsecích a jeho provedení se vychází z TP65, TP100 a VL 6.1. Upravené rozměry pro omezené prostory tunelu jsou:

šířka dopravní značky:	šířka vycházející z počtu symbolů a délky textu
výška dopravní značky:	minimálně přesahující výšku písma
výška písma:	min. 200 mm
umístění:	nad jízdním pruhem

Dopravní značky typu IS6 a IS7 jsou provedeny jako proměnné dopravní značky ve spojitém zobrazení, kap. 3.2.2. V případě uzavření jízdního pruhu se značení nad tímto pruhem překlopí do prázdného pole, obr. 3-18.

Jiná označení: Mimo dopravní značky se v tunelu používá bezpečnostního značení, které se týká označování kabin SOS, únikových cest, hydrantů požárního vodovodu atd., které přispívá k lepší orientaci a zvýšení bezpečnosti pro uživatele tunelu.

V tunelu jsou použity oboustranné (připouští se i provedení lichoběžníku) informativní dopravní značky IJ6 – „Telefon“, doplněné pro zdůraznění nápisem „SOS“ a žlutým přerušovaným výstražným světlem S7 orientovaným do obou směrů jízdy. Tyto informativní značky trvale svítí a při vstupu do hlásky nouzového volání (kabin SOS) se aktivují výše uvedená žlutá světla. Tyto signály lze ovládat i nezávisle řídicím systémem. Značky jsou umístěny v bezprostřední blízkosti kabin SOS (do 1 m) viz obr. 6-1.

Na vnější stěně kabiny SOS je povinně umístěno číslo kabiny SOS minimálně v reflexním provedení. Systém číslování musí být pro celý tunel nebo soustavu tunelů jednotný tak, aby bylo možné kabinu SOS jednoznačně identifikovat v rámci celé soustavy. Dále jsou na stěně kabiny SOS umístěny bezpečnostní značky NE.05 „Hasičské přístroje“ a NE.06 „Hlásič požáru“.

Bezpečnostní značky vyznačující směr k nejbližšímu úniku NE.10 a/b „Únikový východ vpravo/vlevo“ se umísťují po cca 15 m tak, aby byly v případě tvorby kouře při požáru maximálně viditelné, ale aby nepřekážely běžícím lidem. V tunelu se používá minimálně reflexní (nebo prosvětlené či fotoluminiscenční) provedení.

Délka tunelu se vyznačuje po 50 m na straně ve směru jízdy.

3.2.5 Světelná signalizace

Světelné signály jsou důležité z hlediska dopravního i z hlediska bezpečnostního. Jejich umístění se volí nejenom dle dopravního řešení, ale i z hlediska požadavků na bezpečnost, kdy například Signál s červeným světlem „Stůj!“ č. S1a (dále signál Stůj!) zastaví vozidla v daném místě tunelu, zatímco Signál se žlutým světlem „Pozor“ č. S1b (dále signál Pozor!) předchází signálu č. S1a nebo přerušovaným žlutým světlem varuje, že je aktivována kabina SOS nebo došlo v tunelu k mimořádné události, vyžadující zvýšenou pozornost účastníků provozu.

3.2.5.1 Světelné signály

U tunelů všech bezpečnostních kategorií se světelné signály dvojbarevné soustavy (Stůj!/Pozor!) s plnými signály umísťují u portálů na vjezd do tunelu. V odůvodněných případech je možné signály vypustit u tunelů kategorie TC s minimálním vybavením, obr. 3-5, a u tunelů kratších než 200 m. Tunely kategorie TA a TB mají světelné signály i v tunelových troubách ve vzdálenosti zpravidla nepřesahující 500 m. Návěstidla průměru 300 mm (ve výjimečných a odůvodněných případech v tunelu 210 mm), jsou umístěna v tunelu s jednosměrným provozem po obou stranách tunelové trouby, dále na portálu nebo těsně před ním. Pro jejich zvýraznění je mimo tunel vhodné použít kontrastní rám. V případě dopadu přímého slunečního světla je nutné použít antifantomové provedení návěstidla.

Pro situování návěstidel před portálem tunelu platí: základní návěstidla jsou vpravo vedle jízdního pásu. Opakovací návěstidla jsou u směrově rozdělené pozemní komunikace umístěna vlevo vedle jízdního pásu a/nebo nad vozovkou. U směrově nerozdělené pozemní komunikace jsou opakovací návěstidla umístěna nad vozovkou. Pokud tomu nebrání šířkové poměry pozemní komunikace, doporučuje se umístit opakovací návěstidlo i vlevo vedle jízdního pásu. Opakovací návěstidlo je vhodné použít z důvodu zvýšení přehlednosti a bezpečnosti. Při poruše signálu S1a Stůj! je aktivován servisní poplach v řídicím systému tunelu.

Při standardním režimu tunelu nejsou světelné signály v činnosti. Používají se pouze při zvláštním, mimořádných a havarijních stavech tunelu. Při nutnosti zastavit provoz je aktivován v příslušných místech signál č. S1a Stůj! a po odstranění nebezpečné situace tento signál zhasne. Tomuto signálu předchází signál č. S1b Pozor!. Signál č. S1b Pozor! je dále aktivován ve smyslu zpracovaného dopravně-bezpečnostního projektu ve zvláštních a mimořádných dopravních režimech, jako například v případě odstavení vozidla v tunelu, při kolonách nebo při vstupu osoby do kabiny SOS.

Minimálně jednou měsíčně se doporučuje kontrola zapnutí na signál č. S1b Pozor!. Při jakémkoliv plánovaném uzavření tunelu se doporučuje odzkoušet i signál č. S1a Stůj!.

Při návrhu světelných signálů se přiměřeně vychází z ČSN 36 5601 „Světelná signalizační zařízení. Technické a funkční požadavky. SSZ pro řízení provozu na pozemních komunikacích“, z ČSN 73 6021 „Světelná signalizační zařízení. Umístění a použití návěstidel“ a z TP81 „Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích.“

3.2.5.2 Světelné signály pro jízdu v pruzích

Světelné signály pro jízdu v pruzích č. S8a „Zakázaný vjezd vozidel do jízdního pruhu“, č. S8b „Volný vjezd vozidel do jízdního pruhu“ (zelené šipky a červené kříže) a signály č. S8c, d „Světelná šipka vlevo/vpravo“ (šikmé žluté šipky) se instalují v tunelech s jednosměrným nebo obousměrným provozem se dvěma nebo více pruhu. Při návrhu je vždy respektována skutečnost, zda lze tunel s jednosměrným provozem využít dočasně pro obousměrný provoz. Pokud stavební uspořádání tento režim umožňuje a dopravní režim je takto navržen, jsou umístěny signály č. S8a až č. S8d v protisměru tak, aby bylo možno přejít na obousměrný režim.

V tunelech délky přes 1 000 m jsou signály děleny do sekcí tak, aby bylo možné uzavírat/otvírat individuálně tyto dílčí sekce tunelu. Připouští se však pouze jedno přesměrování vozidel (ve smyslu objíždění překážky) v celé délce tunelu. Dopravní režim v tunelu je ovládan v každém pruhu (sekcí) zvlášť řídicím systémem automaticky, resp. dálkově manuálně nebo manuálně z místa.

Signály jsou rozmístěny v rozestupech 150 až 300 metrů, vyžádá-li si to tvar tunelu i v kratších (rozplety ...). Platí zásada, že by vždy měly být viditelné z pozice řidiče nejméně dva signály. Při jejich rozmísťování je třeba brát ohled na nouzová stanoviště (kabiny SOS), nouzové zálivy a v případě dvou a více tunelových trub také na záchranné cesty (tunelové propojky). Signály jsou umístěny u vjezdu do tunelu a na přilehlých úsecích, minimálně jedenkrát cca 150–500 m před vlastním vjezdem. Zde jsou opatřeny kontrastními rámy nebo symbol má rozměry min. 700 x 700 mm.

Uvedené signály je možné montovat na strop tunelu, případně na závěsnou konstrukci vedenou vodorovně nad středem jízdního pruhu. Zásadně jsou používány signály na principu světloemitujícím (optická vlákna nebo LED), kdy je minimální rozměr symbolu 350 x 350 mm.

3.2.5.3 Provoz a kontrola

Signály jsou trvale v aktivním stavu, neboť se tak přispívá k bezpečnosti provozu. Svitem zelené šipky je řidič informován o činnosti systému a směru jízdy, což přispívá k bezpečnosti a zvýšení pohody jízdy.

Minimálně jednou měsíčně se musí funkce signálů zkontrolovat vyzkoušením všech symbolů.

3.2.5.4 Pravidla přesměrování provozu

Při převádění dopravy do vedlejšího jízdního pruhu pomocí světelných signálů pro jízdu v pruzích je nutné dodržovat některé bezpečnostní zásady:

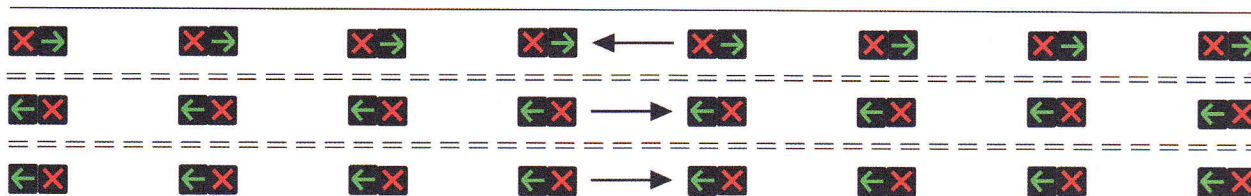
1. Pokud svítí signál č. S8b (Volný vjezd) nebo signály č. S8c a č. S8d (šipka vlevo/vpravo), musí automaticky v protisměru svítit signál č. S8a (Zakázaný vjezd).
2. Pro převedení do sousedního jízdního pruhu musí svítit minimálně dva signály č. S8c a č. S8d (šipka vpravo/vlevo) a v uzavíraném pruhu ve směru jízdy následují signály č. S8a (Zakázaný vjezd).
3. Nepřipouští se v tunelovém prostoru převádět vozidla pomocí signálů č. S8c až č. S8d do jiného jízdního pruhu a zase zpět ve smyslu objíždění překážky více než jedenkrát v celé délce tunelu.

Na obr. 3-16 je zobrazena situace, kdy je tunel provozován v řádném režimu v jednom směru ve dvou pruzích a v protisměru je používán jeden jízdní pruh. Pokud je z provozních důvodů nutné uzavřít jeden jízdní pruh použije se signálů znázorněných na obr. 3-17.

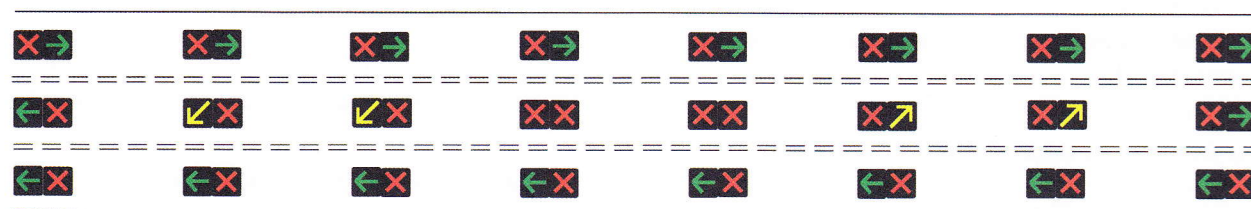
V případě rozpletů nebo připojovacích pruhů uvnitř tunelové trouby je vhodné při uzavření průběžného jízdního pruhu pomocí signálu č. S8a deaktivovat dopravní značky č. IS6g a č. IS7, které by jinak ukazovaly odbočení ze zavřeného pruhu. Tyto dopravní značky jsou pak provedeny jako proměnné, viz obr. 3-14 a obr. 3-15. Schématické znázornění uvedené situace je na obr. 3-18.

3.2.6 Zařízení pro provozní informace (ZPI)

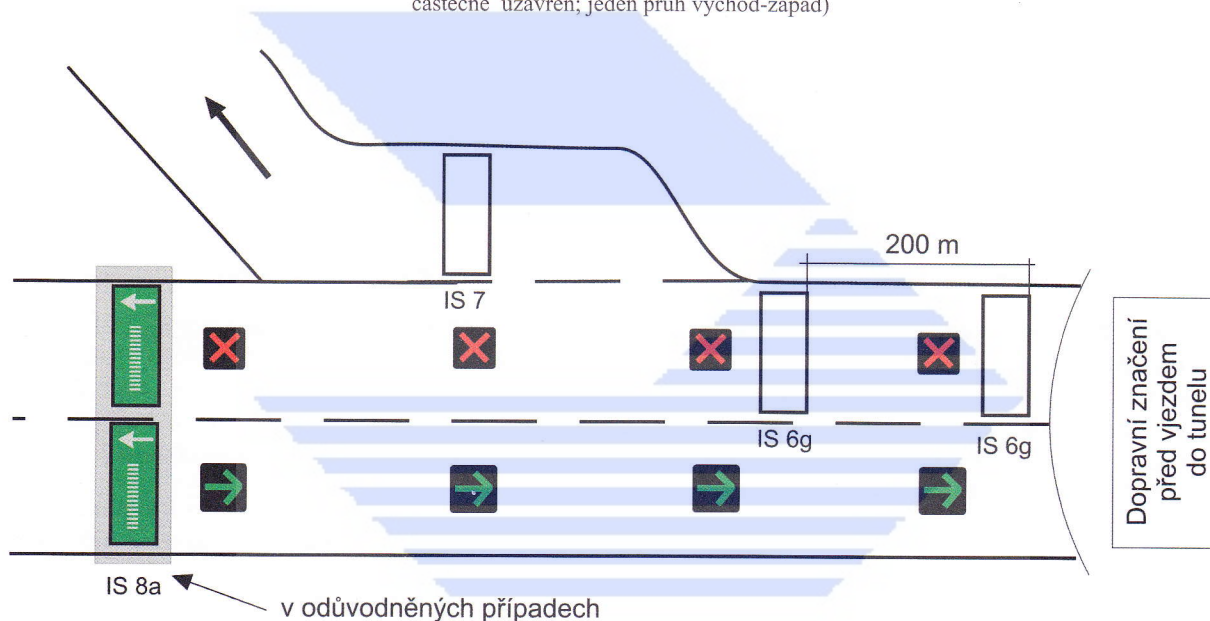
ZPI poskytuje účastníkům provozu aktuální informace o zvláštních, mimořádných a havarijních stavech v tunelu a na souvisejících úsecích komunikace. Jedná se o informace, které přispívají ke zvýšení bezpečnosti a plynulosti provozu, k lepšímu využití infrastruktury, ale i k nižšímu ekologickému zatížení okolí a ke snížení časových a energetických ztrát.



Obr. 3-16: Schématické uspořádání signálů č. S8a až č. S8d při řádném provozování tunelu (dva pruhy západ-východ; jeden pruh východ-západ)



Obr. 3-17: Schématické uspořádání signálů č. S8a až č. S8d při mimořádném provozování tunelu (jeden pruh západ-východ; prostřední částečně uzavřen; jeden pruh východ-západ)



Obr. 3-18: Příklad uzavření jízdního pruhu v tunelu v místě odbočení

ZPI poskytuje stručné, plnohodnotné informace. Pokud není třeba aktivovat informaci, nemají být viditelné žádné informace bez významu nebo sice s významem, ale nežádoucím. Pokud se aktivuje informace, nemají se objevit žádné nezamýšlené symboly.

Příklad možných informací:

- PRÁCE NA POZEMNÍ KOMUNIKACI VZDÁLENOST 500 M
- OLEJ NA VOZOVCE DÉLKA ÚSEKU 1 KM
- NÁLEDÍ ZA TUNELEM
- SMĚR PLZEŇ UZAVŘEN
- KOLONA VZDÁLENOST 200 M atd.

ZPI se v tunelech bezpečnostní kategorie TA a TB umísťují:

- před tunelem, ve vzdálenosti umožňující změnu trasy,
- u portálu tunelu,
- v tunelu.

Před tunelem, ve vzdálenosti umožňující změnu trasy, kdy se poskytují informace o situaci v tunelu a řidiči se informují o možnosti použití objízdné trasy. Použití tohoto zařízení má charakter doporučení.

U portálů se poskytují informace, které objasňují např. čekání před tunelem, aby řidiči neměli tendenci opouštět prostor před tunelem za cenu porušení pravidel

provozu na pozemních komunikacích, a tím zvyšovali pravděpodobnost vzniku kolizní situace.

V tunelu se poskytují obdobné informace jako u portálů. ZPI se v tunelu umísťují přibližně po 500 m a to v dostatečném předstihu (např. 100 m) před návštěvní světelné signalizace. Je vhodné, aby informace na ZPI byla zopakována minimálně dvakrát.

V tunelech a přilehlých úsecích je možné používat následující technologie zobrazení:

- světlovodná vlákna (omezený počet nápisů),
- světloemitující diody (LED),
- prosvětlené tekuté krystaly (LCD),
- bistabilní otočné elementy.

Požaduje se, aby zařízení v jedné sekci tunelů bylo provedeno shodnou technologií (LCD, bistabilní elementy, ...).

Rozměry tabulí jsou dány průjezdným profilem. V tunelu se používají tabule s maximálně 36 alfanumerickými znaky s velikostí písma minimálně 240 mm umístěné nad vozovkou. V portálovém úseku, pokud se neomezí průjezdný profil lze použít maximálně třířádkové tabule se šestnácti znaky. Příklad informační třířádkové tabule umístěné u portálu tunelu je na obr. 3-19.



Obr. 3-19: Třířádková informační tabule na vjezdu do tunelu

Pro řešení zvláštních či mimořádných situací se doporučuje použití mobilních ZPI, viz TP154. Ty je možno umístit na libovolné místo, mimo průjezdný profil, podle potřeby – nehoda, akutní servisní zásah atd. Nápisys jsou modifikovatelné podle momentální potřeby.

3.2.6.1 Ostatní požadavky

Ostatní podrobnější požadavky na PDZ a ZPI plynou z lit. [10].

3.2.7 Dopravní zařízení

Další zařízení zvyšující bezpečnost provozu v tunelu a přilehlých úsecích jsou:

- reflexní elementy (dopravní knoflíky, odrazky, směrové sloupky),
- zařízení pro měření výšky vozidel,
- mechanické zábrany (závory).

3.2.7.1 Reflexní elementy

V tunelech se povinně používají:

- Dopravní knoflíky bílé barvy pro doplnění podélné čáry přerušované. Jsou umístěny ve středu mezer v ose čáry.
- Dopravní knoflíky bílé barvy pro doplnění vodící čáry. Jsou umístěny ze strany jízdního pruhu a to v poloviční vzdálenosti oproti knoflíkům umístěným na podélné čáře přerušované.
- Dopravní knoflíky zelené barvy pro doplnění podélné čáry přerušované oddělující průběžný pruh od odbočovacího nebo připojovacího v oblasti průpletového úseku.
- Směrovací nebo vodící desky se instalují při omezení dopravy (např. při práci v tunelu) pro doplnění podélné čáry souvislé oddělující protisměrné jízdní pruhy.

V odůvodněných případech lze použít mimo vozovku pro zvýšení bezpečnosti vhodné zvýrazňující prvky.

V případě opakovaných přechodných změn směřování vozidel do jiných jízdních pruhů, v úseku před vjezdem do tunelu, například při přechodu na obousměrný provoz v jedné tunelové trubce se doporučuje užití aktivních světloemitujících prvků zabudovaných do vozovky. V závislosti na dopravní situaci nebo při mimořádné události se aktivují příslušné prvky, které řidiče navádí požadovaným směrem, viz obr. 3-20.

Kovová část se zabudovanými světloemitujícími diodami (LED) vyčnívá pouze asi 10 mm nad povrch vozovky, takže údržba komunikace nečiní obtíže. Mechanické provedení je takové, že je vyloučeno poškození projíždějícími vozidly nebo údržbovými mechanismy. Liniové segmenty tvořené těmito elementy jsou řízeny řídicím systémem tunelu v závislosti na dopravní situaci v tunelu. Světelné charakteristiky by měly být takové, aby byla zaručena viditelnost při denním světle vyšší než 100 m.



Obr. 3-20: Přesměrování vozidel aktivními elementy z původně přímého pruhu na odbočení

3.2.7.2 Zařízení pro měření výšky vozidel

Zařízení pro měření výšky vozidel se instaluje pokud strop, případně zařízení na stropě umístěná jsou těsně nad výškou průjezdného průřezu tunelu, viz ČSN 73 7507. Měření výšky vozidel před tunelem není nutné, pokud se v úseku mezi poslední křižovatkou (míněno posledním možným místem nájezdu vozidel na pozemní komunikaci vedoucí do tunelu) a tunelem nachází nadjezdy nebo portály dopravního značení se stejnou nebo nižší podjezdnou výškou, než je podjezdná výška v tunelu.

Základním opatřením jsou svislé dopravní značky č. B16 „Zákaz vjezdu vozidel jejichž výška přesahuje vyznačenou mez“ umístěné v pravidelných odstupu před místem umožňujícím odbočení nadměrného vozidla.

Další opatření mají za úkol zastavit vozidlo, jehož výška přesahuje povolenou hodnotu. Proto se před vjezdem do tunelu, s možností příjezdu vozidel přesahujících výšku průjezdného průřezu, instaluje elektronický systém pro detekci limitní výšky vozidel, resp. mechanická výšková zábrana. Elektronický systém je spojen s dynamickým dopravním značením, resp. se světelnou signalizací. V případě překročení výškového limitu je řidič vyrozuměn nejméně pomocí dvou po sobě následujících proměnných dopravních značek o porušení tohoto zákazu. Jako proměnných dopravních značek lze užít například značku č. B27 „Povinnost zastavit vozidlo“ s nápisem „Stop“. Tato dopravní značka je doplněna dodatkovou tabulkou v provedení PDZ s textem, upozorňujícím na nadměrné vozidlo a s udáním vzdálenosti odstavného zálivu. Pokud šířkové uspořádání pozemní komunikace neumožnilo zřízení odstavného zálivu nebo řidič nadměrného vozidla i přes varování dále pokračuje v jízdě, musí být příslušný jízdní proud do tunelu neprodleně zastaven.

Jako poslední zábrana před vjetím příliš vysokého vozi-

dla do tunelu se doporučuje před portál umístit pevnou (výkyvnou) mechanickou zábranu. Tato zábrana může v odůvodněných případech nahrazovat i elektronické měření výšky.

3.2.7.3 Zábrany

Proměnné dopravní značení a světelné signály, zastavující provoz před tunelem, je u tunelů se základním nebo rozšířeným vybavením (kap. 3.2.3) vhodné doplnit zábranami (č. Z2) uzavírajícími vjezd do tunelu. Zábrany nesmí bránit vjezdu složek IZS.

Zábrany lze užít i pro uzavírku jednotlivých jízdních pruhů a směrování vozidel do volných jízdních pruhů. Při převádění dopravy do obousměrného režimu se nepřipouští „dynamické“ automatizované přesměrování vozidel dálkově z dispečinku bez organizace dopravy na místě.

Zábranu je nutné doplnit světelnými signály č. S7 aktivovanými při změně stavu závory a v její aktivní poloze. Při úplné uzavírci se používá režim současného blikání, při směrování vozidel postupný světelný řetězec usměrňuje vozidla do volného směru.

Pro zvýraznění je možné použít „Signál dvou vedle sebe umístěných střídavě přerušovaných červených světél“ č. S13. Signalizační zařízení je umístěno na sloupku před závorou. V takovém případě ale nemůže být závora použita k přesměrování dopravního proudu.

Elektronický systém zabraňuje zavírání/otvírání zábrany, pokud je v akčním prostoru vozidlo.

Zábrana je aktivována dálkově řídicím systémem nebo místně a kontrolní obvody indikují každý z jejich provozních stavů.

3.2.8 Proměnné dopravní značky pro liniové řízení

Vlastní řízení dopravy spočívající v přesměrování vozidel nebo ve změnách rychlosti je nutné provádět, pokud možno, ještě před vjezdem do tunelu. Jedním z významných prostředků pro zvyšování bezpečnosti v tunelech jsou systémy liniového řízení (viz TP141, bod 2.1.3) umístěné na úseku komunikace před tunelem. Toto řízení se používá v případě vysoké intenzity dopravy a v místech s bezpečnostními riziky na pozemní komunikaci se dvěma a více jízdními pruhy. V obcích se používá tento druh řízení tehdy, jde-li o dálnici nebo silnici pro motorová vozidla s rychlostí alespoň 80 km.h⁻¹.

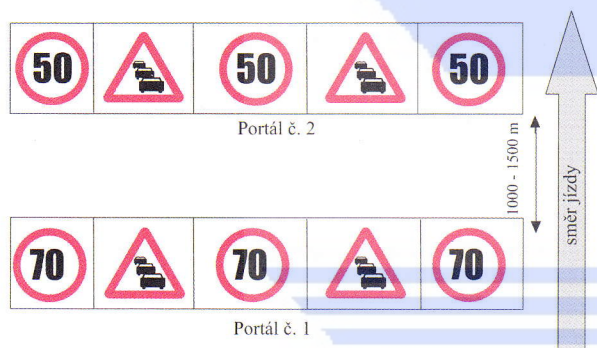
Liniové řízení, které spočívá v omezování rychlosti

vozidel a v omezování předjíždění nákladních automobilů má zásadní vliv na harmonizaci dopravního proudu a tím i na zvýšení propustnosti a zvýšení bezpečnosti, neboť se optimalizují parametry jízdního proudu ještě před vstupem do tunelu.

Jedná se o systém tvořený dopravními senzory měřícími rychlost a intenzitu, proměnnými dopravními značkami regulujícími dopravní proud a řídicím systémem realizujícím dané algoritmy. Tento řídicí systém je funkčně integrován s řídicím systémem tunelu.

Řízení je nejčastěji realizováno proměnnými dopravními značkami v typickém uspořádání: zákazová dopravní značka č. B20a nad jízdními pruhy na portálu, kde jsou doplněny dalšími výstražnými dopravními značkami, například: č. A8, č. A15, č. A23, č. A24 a č. A27 situovanými nad podélnými čarami oddělujícími jízdní pruhy. Další možné konfigurace systému jsou uvedeny v TP141.

Příklad konfigurace značení pro systém liniového řízení je na obr. 3-21.



Obr. 3-21: Příklad konfigurace dopravních značek liniového řízení (portál č. 1 je první ve směru jízdy)

Vzhledem k dynamice řízení jsou dopravní značky provedeny jako světloemitující. Pro jejich provedení platí zásady z TP141.

3.2.8.1 Detekce vozidel

Detekce vozidel dopravního systému, je tvořena detektory vozidel a počítačovým vyhodnocováním, které je zpravidla součástí integrovaného řídicího systému tunelu. Detektory se v tunelu a jeho okolí umísťují dle požadovaných výstupů, které jsou dány funkcemi:

- (a) Řízení dopravy;
- (b) Statické modely;
- (c) Detekce dopravních excesů.

Řízení dopravy: Detektory slouží pro řízení dopravy v reálném čase na všech úrovních. Ocenění stavu dopravy získané měřením a úpravou dopravních dat je zpracováváno v dopravním modelu, který je podstatnou součástí dopravního systému tunelu a je vstupem pro řízení dopravy v reálném čase. Výstupem dopravního modelu jsou verifikované a různými metodami upravené dopravní parametry. Model dopravy, pracující s údaji z detektorů, poskytuje údaje o povaze provozu (okamžitá a průměrná intenzita), kategorii vozidel v každém z dopravních pruhů, okamžité a průměrné rychlosti vozidel v různých sekcích tunelu a v tunelu jako v celku. Pro model dopravy jsou velmi důležité údaje i ze vzdálenosti minimálně 500 až 1 000 m před portálem tunelu.

Zpracované výstupy dopravního modelu vstupují do automatizované regulace provozu v tunelu a vstupují i do nadřazených systémů. Při dosažení předem nastavené hodnoty některého ze sledovaných dopravních parametrů lze vyvolat poplach, který upozorní obsluhu na mimořádnou situaci.

Požaduje se, aby dopravní model poskytoval i hodnoty klasifikované dopravy ve stupních 1 až 5. Stupně udávají všechny dopravní stavy počínaje naprosto volným průjezdem (1), až po kolony vozidel (5). Takto klasifikovaná doprava je výhodná i pro řízení dopravy na úrovni oblasti či útvaru.

Dále se požaduje z okamžitých hodnot intenzit a rychlostí predikovat tyto parametry v časovém horizontu 15-60 min. K tomu se doporučuje využívat některý z modelů intenzita - hustota, resp. rychlost-hustota.

Statické modely: Měřené hodnoty detektorů slouží ke zpracování a následnému vyhodnocování historických dat pro účely analýzy kvality řízení. Změřené parametry - obvykle se jedná o intenzitu dopravy, rychlost a skladbu dopravního proudu, se zpracovávají dle metodiky v TP154 „Provoz, správa a údržba tunelů“ do statických modelů²⁾.

Pro účely tvorby statických modelů se používají detektory situované ve větších odstupech nebo detektory v jednom vybraném řezu, viz dále.

Detekce dopravních excesů: Měřené hodnoty slouží pro věrohodné určení dopravního excesu typu I (kongesce) nebo typu II (nehoda, zastavení vozidla, ztráta nákladu). Měřené dopravní parametry musí být využívány pro zjišťování dopravních excesů typu nehoda nebo stojící vozidlo povinné u tunelů kategorie TA/TB, pokud není využit jiný účinnější systém (videodetekce),

²⁾ Statický model je zpracováván z dat za delší časové období statistickými metodami a popisuje například typický pracovní den.

neboť včasnou identifikaci zastavení vozidla dané např. nehodou, ztrátou materiálu nebo dopravní kongescí vyžadují současné bezpečnostní požadavky.

Požadavek na indikaci stojícího vozidla při malých intenzitách dopravy však vede obvykle na velkou hustotu detektorů, viz dále.

3.2.9 Použité detektory

Jako detektory se obvykle používají indukční smyčky zabudované do povrchu komunikace. Při opravách komunikace se většinou musí instalovat vždy znovu. V současné době se doporučuje používat neinvazních systémů, které nenarušují povrch vozovky a mají celou řadu dalších předností, např. vyhodnocují další dopravní parametry (rychlost, délku vozidel apod.).

Detektory se používají ke sběru následujících dopravních parametrů:

- intenzity dopravy,
- rychlosti vozidel (stupně obsazenosti detektorů),
- kategorizaci vozidel,
- délky front vozidel.

Pozn.: Zvýrazněná měření jsou požadována.

Doporučené neinvazní dopravní detektory jsou:

- Mikrovlnné detektory pracující v rozsahu GHz.
- Infradetektory, laserové detektory.
- Videodetektory.

3.2.10 Umístění detektorů

Odstupy detektorů jsou voleny v závislosti na požadované funkci (a), (b) nebo (c), viz kap. 3.3 a ve vztahu k hustotě řízeného provozu a délce tunelu.

3.2.10.1 Měření pro klasifikaci dopravy a statické modely

V tunelech s vysokou intenzitou dopravy, kde je předpoklad tvorby kolon při běžném provozu (v městských tunelech) jsou měřicí místa rozmístěna po cca 250 m, navíc jsou instalována i ve všech místech vzniku potenciálních problémů (v obloucích, na křižovatkách nebo v místech spojování či rozpojování dopravních proudů). V případě, že se v tunelu netvoří kolony a v dlouhých silničních tunelech stačí rozmístit detektory v intervalech 500–1 000 m, vždy však na vjezd a výjezd. Zde pak detektory poskytují celkový obraz o stavu dopravy, ale identifikace kolony je znesnadněna.

3.2.10.2 Měření pro statický model

Pro statistické účely sloužící k vytvoření statického modelu postačují hodnoty v jednom řezu tunelu.

3.2.10.3 Měření pro identifikaci dopravního excessu

V tomto případě je nutné umístit detektory v pravidelných intervalech (do 150 m) a je nutné používat velmi dobré algoritmy, které dokáží zjistit stojící vozidlo i při velmi nízkých intenzitách. Toto řešení neumožňuje zjištění spadlého nákladu. V další kapitole jsou definovány požadavky na identifikaci dopravních excessů.

3.3 Identifikace dopravního excessu v tunelu

V této kapitole jsou popsány algoritmy, které je možné použít pro identifikaci dopravních excessů standardními detektory a je zde diskutována videodetekce.

Automatická identifikace nehod má zásadní význam z hlediska bezpečnosti pro účastníky nehod v tunelech v tom, že lze velmi rychle přivolat složky IZS a organizovat záchranné práce a dále má zásadní význam pro ostatní účastníky provozu na pozemních komunikacích, kteří by mohli do nebezpečného místa vjet. K omezení tohoto nebezpečí je nutné nehodu včas rozeznat a je nutné mít možnost informovat řidiče, kteří se do tohoto místa blíží.

Rychlá identifikace dopravního excessu, která vede k příslušným dopravním opatřením zabráňujícím vzniku řetězové nehody, je povinnou součástí bezpečnostního vybavení tunelů kategorií TA a TB a je nutno doložit její nepoužití u tunelů kategorie TC. Dopravní exces tvoří dvě kategorie událostí:

- | | |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Typ I | události, které nevznikají náhle. Typicky se jedná o kongesci. |
| Typ II | události vznikající náhle. Typicky se jedná o nehody, odstavená vozidla, ztracený náklad apod. |

Při vytváření současných řídicích tunelových systémů s integrovaným prvkem bezpečnosti je požadováno detekovat událost v reálném čase a následně připravit dopravní opatření zabráňující například řetězovým srážkám v tunelu. Systém identifikace událostí v tunelu musí být začleněn do dopravního řešení i na úrovni oblasti.

Základní požadavky na systém pro vyhodnocování nehod jsou:

- Spolehlivost určení události vyjadřovaná jako počet zjištěných událostí k jejich celkovému počtu: min 90 %.
- Počet falešných poplachů za jednotku času: ≤ 3 za den.
- Rychlost identifikace nehody. Maximální přípustná doba do vyhlášení poplachu od vzniku události Typu II (pro intenzitu dopravy odpovídající 10 % průměrné denní intenzity): 10 s.

3.3.1 Metody zjišťování událostí

Pro vyhodnocování nehod nebo zastavení vozidel lze použít jednu z metod uvedených v kap. 3.3.1.1, resp. metodu ekvivalentní, viz lit. [1] nebo systém videodetekce. Aplikace metod závisí do značné míry na předpokládaném charakteru dopravního proudu, technickém vybavení a na zkušenosti experta.

3.3.1.1 Metody založené na dopravních detektorech

Základem pro automatickou identifikaci událostí je návrh optimálních pozic dopravních detektorů a návrh vhodných algoritmů, které jsou schopny spolehlivě, rychle a s malým počtem chybových hlášení vyhodnotit událost. Za algoritmy automatické detekce událostí se považují ty technologické postupy, které na základě nepřetržitého vyhodnocování parametrů dopravního proudu určí jeho stav a jsou schopny tomuto stavu přiřadit potřebné úrovně alarmů nebo informací.

Většinou je nutné vytvořit algoritmus vhodný pro danou konkrétní aplikaci. Při rozhodování o vhodnosti určitého algoritmu jsou nejdůležitější parametry spolehlivosti a rychlosti. Proto je mnoho známých algoritmů různě modifikováno.

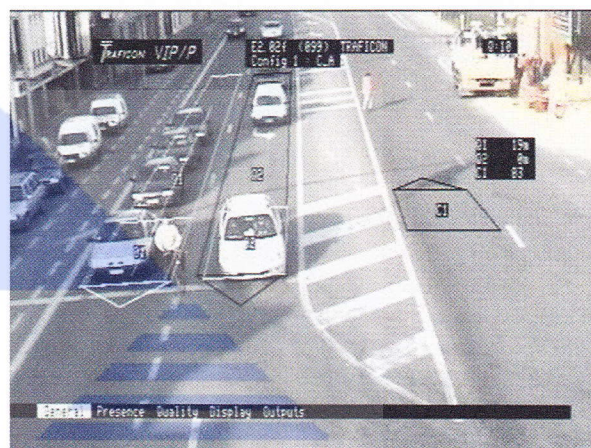
Detekční algoritmy lze členit podle principu a teorie činnosti do následujících skupin:

- srovnávací,
- statistické,
- algoritmy vyhlazování/filtrování dat,
- dopravní a teoretické modely.

Výsledky ukazují, že citlivé algoritmy reagují velmi rychle, ale vykazují velké množství falešných poplachů. Méně citlivé algoritmy mají až 20 % nezachycených událostí.

3.3.1.2 Metoda videodetekce

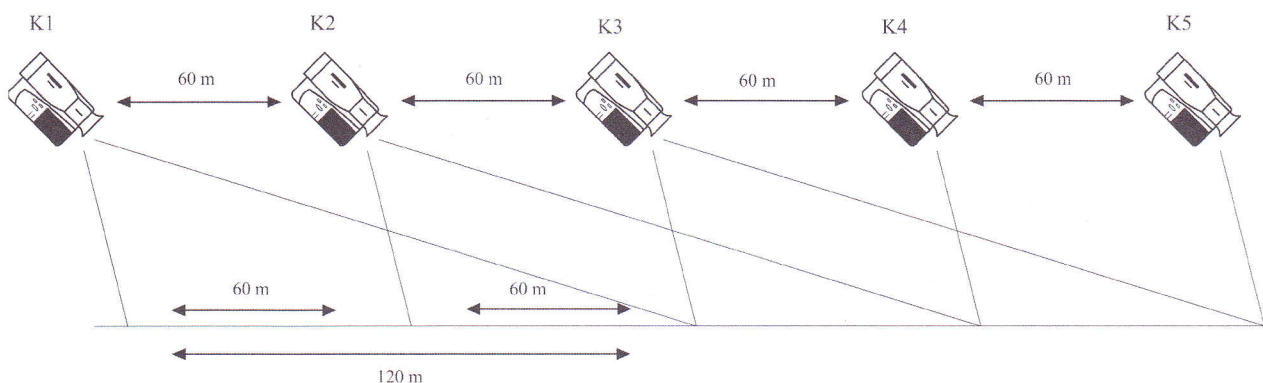
Použití videodetekce pro vyhodnocování událostí v tunelu má jednoznačnou přednost a tunely kategorie TA a TB musí být tímto systémem vybavovány. Nespornou předností systému videodetekce vozidel je, že stacionární kamery, které jsou součástí standardního videodohledu jsou využity i pro videodetekci. Při projektování pozic kamer je nutno klást zřetel na to, aby byla pokryta celá délka tunelu a úseky před a za tunelem. Výstupy videodetekčního zařízení přímo aktivují alarmy v řídicím systému což je spojeno s automatickým nahráváním příslušné kamery. Při použití videodetekce v tunelech se dvěma a více jízdními pruhy se doporučuje umístit kamery nad osu vozovky. Příklad dopravních senzorů modelovaných videodetekcí je na obr. 3-22.



Obr. 3-22: Příklad dopravních senzorů modelovaných systémem videodetekce na příjezdu k tunelu

Spolehlivost identifikace dopravních excesů

Pokud je nutné spolehlivost identifikace excesů v daných úsecích ještě zvýšit, použije se překrytí záběrů kamer, jak je naznačeno na obr. 3-23.



Obr. 3-23: Zvýšení spolehlivosti identifikace události překrytím kamer

IV. Osvětlení tunelu

4.1 Úvod

Tato kapitola a Příloha A shrnují poznatky mezinárodních doporučení pro osvětlení tunelů pozemních komunikací a poskytují metodiku pro návrh osvětlení tunelů. Bylo využito lit. [2], [3].

Návrh se týká základních principů, která určují osvětlení tunelu a dává fotometrická doporučení k dosažení co nejefektivnější instalace osvětlovacích soustav, přispívající k bezpečnosti dopravy, plynulosti dopravního toku a zrakové pohody řidičů. Obecně lze konstatovat, že je mnoho faktorů, které dále ovlivňují osvětlení tunelu - povětrnostní podmínky mimo tunel, druh vozovky a dopravní podmínky v tunelu, zvyky řidičů, konstrukce a stav automobilů atd.

4.2 Volba osvětlení tunelu

V tunelu se instaluje normální osvětlení v závislosti na jeho délce. V tunelech kratších než 25 m se ve dne osvětlení nevyžaduje, avšak 1 h po východu a 1 h před západem slunce musí být zajištěno osvětlení dle Příl. A čl. A.3.4. U tunelů délky 25-75 m se nepoužívá osvětlení ve dne nebo je na úrovni 50% prahového pásma v závislosti na nomogramu v tab. A 3-3. Pro tunely mezi 75 a 125 m se používá osvětlení na úrovni 50 nebo 100% podle tab. A 3-3. Tunely nad 125 m jsou osvětleny na úroveň 100% prahového pásma.

Instalace náhradního osvětlení, nouzového únikového osvětlení tunelu a značení únikových cest závisí na kategorii tunelu TA, TB, TC a je dáno tabulkou 6-1 v kapitole „Bezpečnostní vybavení“.

4.3 Cíle a požadavky osvětlení tunelu

Cílem osvětlení tunelů je zajistit v průběhu dne i noci bezpečnost, plynulost a zrakovou pohodu účastníků provozu obdobnou, jako na přilehlých úsecích otevřené komunikace, při respektování dané návrhové rychlosti. K dosažení tohoto cíle je potřeba vytvořit podmínky pro to, aby:

- řidiči vjíždějící do tunelu, projíždějící jím nebo vyjíždějící z tunelu měli dostatek zrakových informací o pokračování komunikace před sebou, zahrnující informace o případném výskytu překážek, včetně informací o ostatních vozidlech a jejich pohybu,
- pocity sebedůvěry řidičů byly stejné jako na přilehlých otevřených úsecích komunikace.

Nejnáročnější je dosažení uvedených cílů v denní době, zvláště za svitu slunce. Pro osvětlení v tunelech jsou za důležité považovány následující fotometrické charakteristiky:

- úroveň jasu vozovky a spodní části stěn tunelu,
- rovnoměrnost rozložení jasu na vozovce,
- omezení oslnění,
- omezení mihání světla.

Doporučení úrovně jasu, daná technickými podmínkami, musí být považována za minimální při předepsané hodnotě udržovacího činitele.

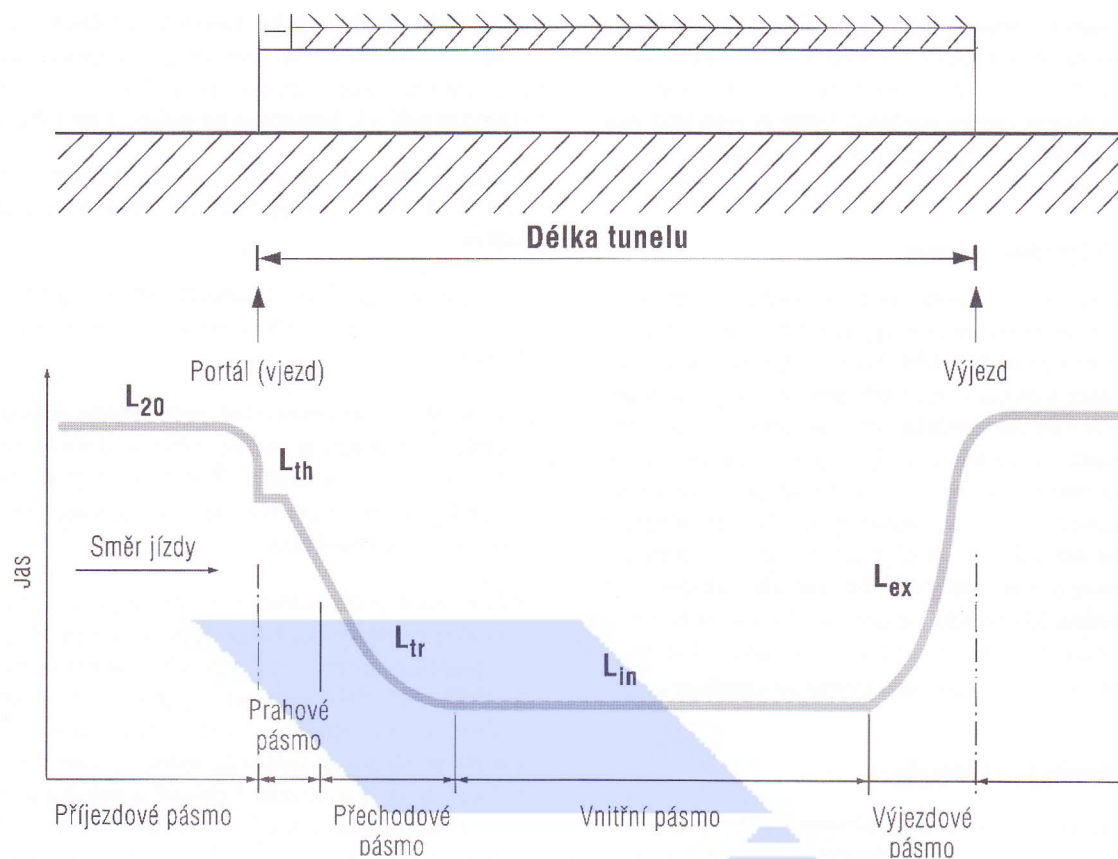
4.4 Terminologie

Ve smyslu těchto technických podmínek je v této kapitole považováno za tunel jakékoliv zakrytí komunikace bez ohledu na délku a povahu tohoto zakrytí. Jakékoliv sluneční clony, žaluzie nebo jiné konstrukce, odcloňující denní světlo, lze považovat za součást tunelu.

4.4.1 Pásma osvětlení tunelu

Úkolem osvětlení tunelu je zajistit srovnatelnou viditelnost vně i uvnitř tunelu. Vzhledem k zrakové adaptaci řidiče je osvětlení tunelů nejkritičtější v denních hodinách, kdy řidič vjíždí z prostředí s vysokou úrovní jasu do prostředí, kde je jeho úroveň nízká. Čím větší je rozdíl těchto jasových úrovní, tím déle trvá proces adaptace zraku a tím větší dráhu vozidlo ujede za danou adaptační dobu. Tato vzdálenost nesmí být vzhledem k bezpečnosti větší, než celková brzdná dráha vozidla.

Z výše uvedených důvodů se v podélném směru tunelů rozlišuje pět pásem osvětlení. Tato pásma jsou schématicky znázorněna na obr. 4-1.



Obr. 4-1: Typický podélný řez jednosměrným tunelem

Pozn.: V příjezdovém a výjezdovém pásmu se jedná o vztažné jasy odpovídající adaptačnímu stavu zraku. V ostatních pásmech se jedná o jas v tunelu.

4.4.1.1 Příjezdové pásmo

Příjezdové pásmo je úsek komunikace bezprostředně před vjezdem do tunelu, odkud vidí řidič vnitřek tunelu. Viditelnost vozovky uvnitř tunelu z příjezdového pásma ovlivňuje několik činitelů. Patří mezi ně nedostatečné osvětlení prahového pásma, které způsobuje, že řidič nalézající se v příjezdovém pásmu nevidí překážky uvnitř tunelu. Také závojové oslnění, vyvolané rozptýleným atmosférickým světlem ovlivňuje viditelnost a snižuje kontrast jasů předmětu na vozovce, a to jak uvnitř, tak vně tunelu.

Tzv. „efekt černé díry“ vzniká v případech, kdy řidič nemá dostatečnou důvěru, že cesta uvnitř tunelu je volná a v důsledku toho zpomalí. Nejhorší je případ, kdy se bezprostředně před řidičem nevyskytují žádná vozidla, podle nichž by mohl viditelnost snadno vyhodnotit. Hodnota jasu v příjezdovém pásmu se označuje L_{20} .

4.4.1.2 Prahové pásmo

Prahové pásmo je první vnitřní úsek tunelu na vjezdu do tunelové trouby, obr. 4-1. Osvětlení tohoto pásma musí vycházet ze zrakového vnímání řidiče, který se

ještě nalézá vně tunelu a je tedy obklopen jasy příjezdového pásma. Délka tohoto prahového pásma závisí na návrhové rychlosti a má se rovnat příslušné celkové brzdné dráze, viz Příl. A1. Hodnota jasu v prahovém pásmu se označuje L_{th} .

4.4.1.3 Přechodové pásmo

Přechodové pásmo je úsek tunelu na vjezdu do tunelové trouby, následující po prahovém pásmu. V přechodovém pásmu se úroveň jasu, existující na konci prahového pásma, snižuje na úroveň jasu vnitřního pásma. Tento přechod musí být postupný, aby měl zrak dostatek času k adaptaci na nižší úroveň jasu, aby nedošlo vlivem nedostatečné adaptace zraku ke snížení viditelnosti a zrakové pohody. Délka přechodového pásma závisí na návrhové rychlosti a na rozdílu úrovní jasu mezi koncem prahového pásma a vnitřním pásmem, viz Příl. A1. Hodnota jasu v přechodovém pásmu se označuje L_{tr} .

4.4.1.4 Vnitřní pásmo

Vnitřní pásmo je vnitřní úsek tunelové trouby, následující po pásmu přechodovém. Ve vnitřním pásmu se

úroveň jasu všeobecně udržuje na konstantní hodnotě. Postupné snižování jasu v přechodovém pásmu nemůže zajistit úplnou adaptaci zraku. Proto je ve dne nutno ve vnitřním pásmu tunelu udržovat vyšší úroveň jasu než v noci, viz Příl. A3. Hodnota jasu ve vnitřním pásmu se označuje L_{in} .

4.4.1.5 Výjezdové pásmo

Výjezdové pásmo je úsek tunelové trouby, ve kterém je vidění řidiče, blížícího se k výjezdu z tunelu, ovlivněno jasem prostoru za tunelem. Ve výjezdovém pásmu již není situace s ohledem na viditelnost a zrakovou pohodu během dne tak kritická, protože obrysy předmětů, nalézajících se ve výjezdu, jsou dobře viditelné proti jasnému otvoru výjezdu a rovněž adaptace zraku na vyšší úroveň jasu je podstatně rychlejší, než adaptace zraku na nižší úroveň jasu. Nicméně při velké hustotě provozu a z ní vyplývajících malých odstupech za sebou jedoucích vozidel, může vysoký jas za tunelem řidiči ztížit posuzování manévru vozidla před ním. Hodnota jasu ve výjezdovém pásmu se označuje L_{ex} .

4.5 Osvětlení ve dne

Osvětlení tunelu patří k systémům, jejichž návrh je možno podložit exaktním výpočtem. Pro návrh umělého osvětlení tunelové trouby ve dne, jehož postup je uveden v Příloze A těchto technických podmínek, jsou použity dva materiály: Směrnice CIE 88/1990 „Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses“ a „Zásady pro osvětlování tunelů a podjezdů“, lit. [2], [3].

4.6 Změny osvětlení ve dne a regulace osvětlení

Jas v příjezdovém pásmu se mění v závislosti na proměnách denního světla. Úroveň jasu požadovaná v prahovém a přechodovém pásmu je odvozena od jasu příjezdového pásma jako jeho konstantní procentuální podíl ($k = L_{th}/L_{20}$).

Trvalý provoz normálního osvětlení tunelové trouby na maximum výkonu, odpovídající nejvyšším hodnotám jasu příjezdového pásma, by byl neekonomický. Proto je v prahovém a v přechodovém pásmu nutno zajistit automatickou regulaci umělého osvětlení. Tato regulace může být stupňovitá. Doporučuje se, aby poměr jasu sousedních stupňů při regulaci osvětlení nepřesahoval hodnotu 3:1, přičemž za ještě přípustný je považován poměr 5:1.

Umístění a orientace jasoměru, vyhodnocujícího jas příjezdového pásma L_{20} , by měla být pokud možno stejná jako při původním výpočtu hodnoty L_{20} při návrhu osvětlení.

Z hlediska údržby má být jasoměr instalován ve výšce 2 až 5 m nad vozovkou po její pravé straně. Jasoměr zjišťuje průměrnou hodnotu jasu ve dvacetistupňovém měřicím poli a je korigován na citlivost lidského zraku.

Teplotní citlivost jasoměru je minimálně v pásmu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a je požadována dlouhodobá stabilita měření.

Při výpadku jednoho jasoměru přebírá jeho funkce druhý jasoměr u druhého portálu nebo astronomické hodiny.

Za účelem vyhodnocování skutečných úrovní jasu v prahovém pásmu je možné měřit jas druhým jasoměrem, situovaným v tunelu. Rozdíl mezi požadovaným jasem L_{th} a jeho skutečnou velikostí je kritériem vhodným pro řízení osvětlení.

Zde je nutno poznamenat, že skutečný jas L_{th} není možno měřit z polohy oka řidiče. Z praktických důvodů má být jasoměr umístěn ve výšce větší, než jaké dosahují nejvyšší nákladní automobily, t.j. přes 4,5 m. Naměřená hodnota je pak odlišná od jasu pozorovaného řidičem. Korekční činitel je zjišťován jednou ročně a následně aplikován ve výpočtech. Velikost korekčního činitele závisí na velikosti zrcadlové složky odrazu a obvykle nabývá hodnot v rozmezí 1,2 až 2,0. Všeobecně platí, že čím menší je rozdíl mezi požadovanou a skutečnou velikostí L_{th} , tím je provoz osvětlení úspornější. V praxi se tento rozdíl nedá udržovat na nulové velikosti. Měrný výkon používaných vysokotlakých sodíkových výbojek při plynulém stmívání klesá a při stupňovité regulaci vypínáním světelných zdrojů je nulová odchylka nere realizovatelná. Dokonalost stupňovité regulace závisí na počtu jejích stupňů. Čím více stupňů, tím dokonalejší regulace. V každém jednotlivém případě je však potřeba volit neekonomičtější řešení, založené na rozboru nákladů na spotřebovanou elektrickou energii a nákladů na světelné zdroje (délka jejich života závisí na četnosti spínání). Rozdíl sousedních regulačních stupňů bývá navrhován na hodnotu 10 až 25 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$.

Pozornost je nutno věnovat době odezvy různých složek regulačního zařízení osvětlení. Například doba náběhu nebo znovu zapálení vysokotlakých výbojek se pohybuje na úrovni několika minut. Na druhé straně změny jasu L_{20} mohou být velmi rychlé. Krátkodobé změny způsobené mraky lze zanedbat, ale rychlá změna L_{20} způsobená východem nebo západem slunce by měla vyvolat reakci v dostatečně krátké době. Optimální program regulace musí vycházet z místních podmínek. Proto se doporučuje během provozu trvale zaznamenávat údaje o průběhu změn jasu L_{20} a jasu prahového pásma a na základě jejich vyhodnocování průběžně optimalizovat proces regulace umělého osvětlení tunelové trouby.

Požaduje se, aby ovládání osvětlení tunelové trouby bylo součástí integrovaného centrálního řídicího systému a veškeré měřené hodnoty byly zaznamenávány v hlavní řídicí stanici CT. Z řídicího počítače je možné aktivovat jedním povelom „Plné osvětlení“ osvětlení akomodačního pásma i osvětlení vnitřní a na výjezdu na maximum.

Při výpadku řídicího systému je nutné zajistit sepnutí osvětlení tunelové trouby náhradním způsobem.

4.7 Rovnoměrnost jasu

Celková rovnoměrnost jasu povrchu vozovky má vyhovovat požadavku, aby $L_{\min} : \bar{L} \geq 0,4$. V případě podélné rovnoměrnosti jasu povrchu vozovky, hodnocené v ose každého jízdního pruhu, je požadováno, aby $L_{\min} : L_{\max} \geq 0,6$. Požadavky na celkovou rovnoměrnost jasu se v případě tunelové trouby doporučuje rozšířit i na osvětlení stěn do výšky 2 m.

4.8 Omezení oslnění

Stupeň oslnění umělým osvětlením v tunelu se hodnotí podle relativního zvýšení prahu rozlišitelnosti TI , uvažovaného v %.

Pro jeho výpočet v případě průměrného jasu vozovky $\bar{L} \leq 5 \text{ cd.m}^{-2}$ platí:

$$TI = \frac{65L_v}{\bar{L}^{0,8}}$$

kde \bar{L} průměrný jas povrchu vozovky [cd.m^{-2}],
 L_v úhrnný ekvivalentní závojevý jas [cd.m^{-2}].

Pro $\bar{L} > 5 \text{ cd.m}^{-2}$ se relativní zvýšení prahu rozlišitelnosti TI vypočte ze vzorce:

$$TI = \frac{95L_v}{\bar{L}^{1,05}}$$

kde \bar{L} průměrný jas povrchu vozovky [cd.m^{-2}]
 L_v úhrnný ekvivalentní závojevý jas [cd.m^{-2}]

Ve všech pásmech tunelu a pro všechny stupně regulace osvětlení by hodnota relativního zvýšení prahu rozlišitelnosti TI měla být menší než 15 %.

4.9 Omezení jevu míhání

Jev míhání vzniká v důsledku periodických změn jasu v zorném poli řidiče, např. působením denního osvětlení, pronikajícího do tunelové trouby otvory v jeho

stěnách nebo působením svítidel s nesprávnou roztečí. Zraková nepohoda způsobená míháním závisí na :

- a) kmitočtu míhání,
- b) celkové době působení,
- c) strmosti jasových změn v jedné periodě,
- d) hloubce modulace jasu.

Všeobecně je rušivý vliv míhání zanedbatelný při kmitočtech nižších než 2,5 Hz a vyšších než 15 Hz. Jsou-li mezery mezi svítidly menší než jejich délka, je míhání rovněž zanedbatelné. Praktické zkušenosti ukazují, že se vliv rušivého míhání neprojevuje při době působení kratší než 30 sekund. Z toho vyplývá, že vliv míhání vlivem umělého osvětlení je nutno respektovat pouze ve vnitřním pásmu tunelu.

Pro přehled jsou v tab. 4-1 uvedeny nedovolené rozteče svítidel vypočtené pro vybrané rychlosti jízdy vozidel.

Rychlost jízdy [km.h ⁻¹]	Nedovolené rozteče svítidel [m]
40	0,7–4,4
50	0,9–5,6
60	1,1–6,7
70	1,3–7,8
80	1,5–8,9
90	1,7–10,0
100	1,9–11,1
110	2,0–12,2
120	2,2–13,3

Tab. 4-1: Nedovolené rozteče svítidel pro vybrané rychlosti

4.10 Osvětlení v noci

Nalézá-li se tunel na osvětlené pozemní komunikaci, má být úroveň a rovnoměrnost jasu uvnitř tunelu nejméně stejná jako na této komunikaci.

Nalézá-li se tunel na neosvětlené komunikaci, je nutno uvnitř tunelu zajistit hodnotu udržovaného jasu $\bar{L}_m = 1 \text{ cd.m}^{-2}$ při celkové rovnoměrnosti $L_{\min} : \bar{L} = 0,4$ a podélné rovnoměrnosti $L_{\min} : L_{\max} = 0,6$. Tyto požadavky platí i pro tunely ve dne neosvětlené.

Za výjezdem z tunelu má být komunikace osvětlena v délce rovné nejméně pěti sekundám jízdy vozidla, jedoucího nejvyšší dovolenou rychlostí. Průměrný jas povrchu vozovky nemá být menší než 1/3 hodnoty průměrného jasu \bar{L} uvnitř tunelu.

Jsou-li před vjezdem nebo výjezdem z tunelu instalovány sluneční clony, má být osvětlovací soustava nočního osvětlení, existující uvnitř tunelu, prodloužena i do těchto úseků.

4.11 Opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu

V případě, že v tunelu dochází ke změně směru jízdy připojováním nebo odpojováním jízdních pruhů, je požadováno zvýšení úrovně osvětlení v místě změny směru jízdy a v úseku nejméně 100 m před a za touto změnou alespoň na dvojnásobek normálně požadovaných hodnot.

4.12 Nouzové osvětlení

4.12.1 Obecně

Nouzové osvětlení tunelu se zřizuje především pro použití ve zvláštním a nouzovém režimu provozu tunelu. Členění nouzového osvětlení tunelu je uvedeno v obr. 4-2.

4.12.2 Náhradní osvětlení tunelu

V případě výpadku normálního napájení elektrickou energií, napájející normální osvětlení tunelové trouby, je třeba zabezpečit provoz vybraných svítidel soustavy normálního osvětlení tunelové trouby za účelem:

- snížení nebezpečí instinktivních reakcí řidičů uvnitř tunelu v okamžiku výpadku (náhlé brždění by mohlo vést ke vzniku hromadných nehod),

- zajištění dostatečného osvětlení, úměrného nejvyšší dovolené rychlosti, zavedené v okamžiku výpadku elektrické energie na vjezdu tunelové trouby proměnnou dopravní značkou B20a,

- provádění záchranných a likvidačních prací při odstraňování následků nehod v tunelu.

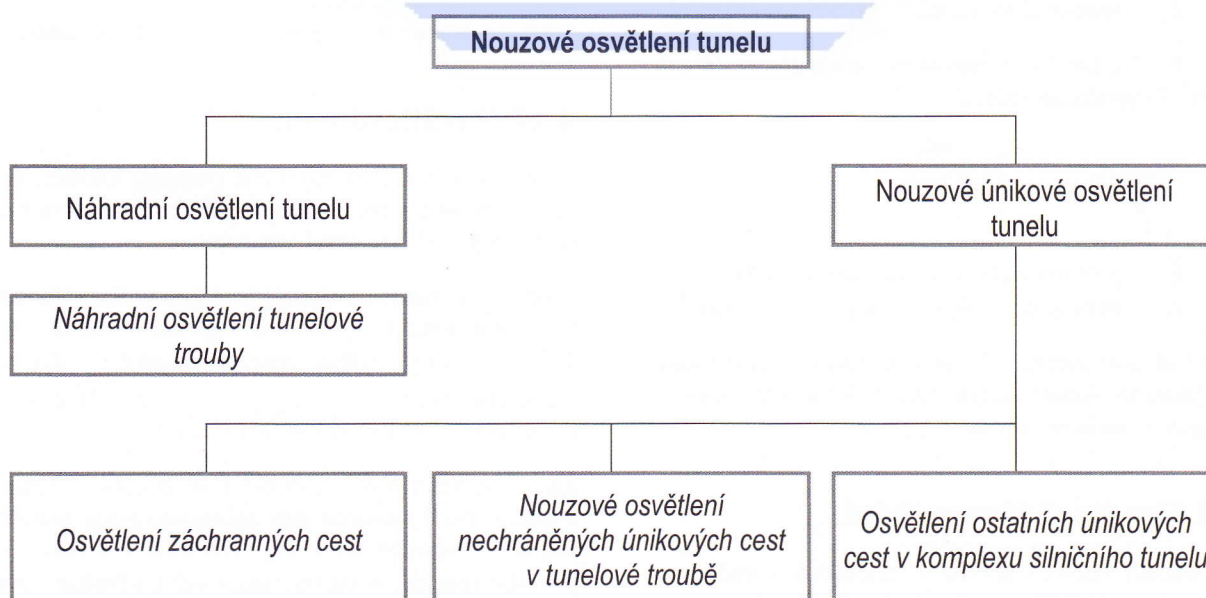
Počet svítidel, která zůstávají v provozu a jejich kombinace je dána světelně technickými výpočty. Toto osvětlení se nazývá Náhradní osvětlení tunelové trouby a je součástí Náhradního osvětlení tunelu. Uvádí se do provozu při automatickém přepnutí z normálního napájení elektrickou energií na napájení z nezávislého záložního zdroje napájení elektrickou energií. Doba náběhu záložního zdroje na plný výkon musí být překryta zdrojem nepřerušované dodávky elektrické energie.

Náhradní osvětlení se navrhuje i ve vybraných technologických prostorách (velín, energocentrum atd.), kde přerušení vykonávaných činností může hrozit bezpečnost provozu v tunelu nebo obsluhy, případně poškození technologického zařízení. Náhradní osvětlení se navrhuje pro kategorie tunelů dle kap. 6, tab. 6-1.

Náhradní osvětlení tunelu umožňuje pokračování provozu komplexu silničního tunelu se stanovenými omezeními (zvláštní režim provozu tunelu).

4.12.2.1 Úroveň náhradního osvětlení

V prahovém a přechodovém pásmu tunelu je potřeba udržovat úroveň osvětlení úměrnou omezení nejvyšší dovolené rychlosti, signalizovanému před vjezdem do tunelu. Není-li možno takové osvětlení zajistit, je nutno vozidla, blížící se k tunelu, před vjezdem do tunelu zpomalit použitím svislých proměnných dopravních značek



Obr. 4-2: Členění nouzového osvětlení tunelu

B20a na rychlost odpovídající světelným podmínkám náhradního osvětlení tunelové trouby, případně doplnit i informace textové prostřednictvím ZPI (zařízení pro provozní informace).

Pro náhradní osvětlení tunelové trouby musí výkon nezávislého záložního zdroje elektrické energie být dimenzován tak, aby zajistil, vedle osvětlení prahového a přechodového pásma, ve vnitřním pásmu přinejmenším úroveň jasu předepsanou pro osvětlení v noci.

Náhradní osvětlení ve vybraných technologických prostorech musí zajistit alespoň 10 % jejich normálního celkového osvětlení, nejméně $\bar{E}_m = 30 \text{ lx}$.

Rovnoměrnost náhradního osvětlení musí vyhovovat požadavku $E_{\min} : \bar{E} \geq 0,1$.

4.12.2.2 Uvedení do provozu a řešení havarijních stavů

Nejkritičtější moment z hlediska bezpečnosti nastane, když dojde k výpadku normálního napájení elektrickou energií a ke zhasnutí normálního osvětlení. Proto je nezbytné, aby normální osvětlení zůstalo v provozu nebo aby náhradní osvětlení naskočilo okamžitě po výpadku napájení normálního osvětlení (tj. bez přerušení dodávky elektrické energie). Změna příkazu o omezení rychlosti (proměnné dopravní značky č. B20a) se realizuje také okamžitě. Doba činnosti náhradního osvětlení tunelu má zajistit s bezpečnou rezervou dobu do opětovného uvedení normálního napájení elektrickou energií do funkce. Při napájení z nezávislého záložního zdroje napájení elektrickou energií je doba činnosti dána v kap. 11.4.3. S dostatečným časovým odstupem, před případným ukončením činnosti náhradního osvětlení, je tunel uzavřen.

4.12.2.3 Varování řidičům

Řidiče je potřeba ve vzdálenosti několika desítek metrů před vjezdem do tunelu účinně upozornit na přechodné omezení nejvyšší dovolené rychlosti v důsledku výpadku elektrické energie a provozu nezávislého záložního zdroje napájení elektrickou energií, napájecího náhradního osvětlení tunelové trouby.

Přednostně se použijí svislé proměnné dopravní značky B20a, případně jsou doplněny i textovými informacemi prostřednictvím ZPI.

4.12.3 Nouzové únikové osvětlení tunelu

V tunelových troubách, kde bývá při požáru vlivem vývoje kouře omezena účinnost osvětlovací soustavy umístěné pod stropem a pro evakuované osoby může

být obtížná orientace a nezřejmé vedení únikové cesty, se zřizuje soustava **nouzového osvětlení nechráněných únikových cest v tunelové troubě**, umístěná nad úrovní povrchu únikové komunikace maximálně ve výšce 0,8–1,0 m. Tato soustava musí být doplněna svítidly pro zvýrazněné osvětlení dále uvedených míst a musí splňovat dále uvedené požadavky na úroveň a rovnoměrnost nouzového osvětlení nechráněných únikových cest. V tunelových troubách se za únikové cesty zpravidla považují chodníky po obou stranách vozovky.

Při nouzovém osvětlení nechráněných únikových cest v tunelu (např. nouzových chodníků) nesmí být vodorovná osvětlenost na podlaze podél osy únikové cesty do šířky 2 m menší než $\bar{E}_m = 2 \text{ lx}$ a středový pás, široký alespoň polovinu šíře cesty, musí být osvětlen minimálně na 50 % této hodnoty. Širší únikové cesty mohou být uvažovány jako několik 2 m širokých pásů. Poměr maximální a minimální osvětlenosti podél osy únikové cesty nesmí být větší než 40 : 1.

Z důvodu omezení oslnění činí limit svítivosti použitých svítidel v soustavě nouzového osvětlení nechráněných únikových cest 500 cd v horním poloprostoru nad vodorovnou rovinou, procházející optickým středem svítidla.

Bezpečnostní značky v bezprostřední blízkosti únikového východu se symbolem „Nouzový východ“, musí být osvětleny nebo v provedení prosvětleném, aby jednoznačně ukazovaly místo nouzového východu. Tam, kde není možný přímý pohled na nouzový východ, musí být zajištěna osvětlená směrová bezpečnostní značka (nebo série značek) tak, aby se usnadnil postup směrem k nouzovému východu (naváděcí značení únikových cest).

Svítidla nouzového osvětlení nechráněných únikových cest musí být umístěna tak, aby bylo zajištěno osvětlení v blízkosti vstupů (vjezdů) do záchranných cest (únikových dveří) a v místech, kde je nezbytné zdůraznit možné nebezpečí nebo bezpečnostní zařízení. Vodorovná udržovaná osvětlenost na podlaze v těchto místech musí mít minimální hodnotu $\bar{E}_m = 5 \text{ lx}$. Místa, která musí být tímto osvětlením zdůrazněna jsou zvláště:

- a) každé dveře určené pro nouzový východ, (vstup/vjezd do záchranné cesty),
- b) bezpečnostní značky,
- c) v blízkosti (viz poznámka) každé jiné změny výškové úrovně nechráněné únikové cesty,
- d) nechráněné únikové cesty v blízkosti nouzových východů,
- e) při každé změně směru nechráněné únikové cesty,
- f) každý nouzový (resp. otáčecí) záliv,

- g) nechráněné únikové cesty v blízkosti každé hlásky nouzového volání,
- h) v blízkosti (viz poznámka) každého hasicího prostředku (hydrantu požárního vodovodu) a požárního hlásiče.

Poznámka: Pro účely tohoto článku se termínem „v blízkosti“ rozumí naměřená vodorovná vzdálenost menší než 2 m.

Nouzové osvětlení nechráněných únikových cest v tunelové troubě se uvádí do provozu bezprostředně po uvedení tunelu do nouzového režimu provozu tunelu.

Osvětlení záchranných cest, osvětlení ostatních únikových cest v komplexu silničního tunelu (provozních a technologických prostorů) se provádí zpravidla normálním osvětlením. Toto osvětlení musí splňovat následující požadavky: Udržovaná osvětlenost na podlaže má dosahovat nejméně hodnoty $\bar{E}_m = 15 \text{ lx}$ při rovnoměrnosti $E_{\min} : \bar{E} = 0,1$. Osvětlení záchranných cest a ostatních únikových cest v komplexu silničního tunelu musí být v provozu po uvedení tunelu do nouzového režimu provozu tunelu. V době mimo nouzový režim provozu tunelu je toto osvětlení v provozu podle provozních potřeb.

Požaduje se, aby zdroj nepřerušované dodávky elektrické energie umožnil činnost nouzového osvětlení tunelu nejméně po dobu 120 minut.

Nouzové osvětlení tunelu také zabezpečuje dostatečnou viditelnost příslušných orientačních nápisů nebo symbolů, bezpečnostních značek.

Pro svítidla soustav nouzového osvětlení tunelu je požadován stupeň krytí IP65.

V případě poruchy některé ze soustav nouzového osvětlení tunelu, nebo jejich částí, se doba jejich výpadku přípouští do doby opravení, nejvýše však do jedné hodiny s tím, že jsou vykonána opatření daná v TP 154, kap. 4.3.2. Dispečer má v tomto případě zvýšenou pohotovost a dle bezpečnostního plánu může aktivovat varovná a bezpečnostní opatření.

Při provozu náhradního osvětlení tunelu je v případě poruchy nouzového únikového osvětlení nutno tento havarijní stav řešit zastavením provozu v tunelu. Totéž platí pro případ výpadku náhradního osvětlení během jeho provozu.

Nouzové osvětlení tunelu a bezpečnostní značení se navrhuje pro bezpečnostní kategorie tunelů dle kap. 6, tab. 6-1.

4.13 Požadavky na svítidla a jasoměry

Příkony jednotlivých světelných zdrojů a navržené rozteče jsou dány světelně technickým výpočtem. V prahovém a přechodovém pásmu se doporučuje používat svítidel s asymetrickou křivkou svítivosti, jejichž světelný tok je převážně směřován proti směru pohledu řidičů (tzv. protisměrné osvětlení, CBL – Counter Beam Lighting). Tento způsob osvětlení zabezpečuje dobrou rozpoznatelnost překážek a je energeticky úspornější než standardní symetrické osvětlení.

Pro zvýšení doby života světelných zdrojů a pro snížení nákladů na elektrickou energii se doporučuje používat regulované napájecí soustavy přednostně před soustavou využívající přepínání světelných zdrojů.

Svítidla jsou zpravidla vyrobena z výtlačně lisovaného hliníku, ze slitiny 6063 (hliník, hořčík, křemík), speciálně ochráněné proti korozi a bez jakýchkoli přísad mědi nebo jsou nerezová. V případě použití plastů je nezbytné doložit požární atest o nehořlavosti a nevyvíjení toxických zplodin. Všechna tunelová svítidla musí vyhovovat normě ČSN EN 60598-1 Svítidla, část 1: Všeobecné požadavky a zkoušky a ČSN EN 60598-2-3 Svítidla, část 2: Zvláštní požadavky, oddíl 3: Svítidla pro osvětlení cest a ulic. Nouzová svítidla musí vyhovovat normě ČSN EN 60598-2-22 Svítidla, část 2-22: Zvláštní požadavky – Svítidla pro nouzové osvětlení. Také musí splňovat požadavky uvedené v kapitole 4.2 ČSN EN 1838.

Bezpečnostní značky pro označení únikových cest musí splňovat požadavky uvedené v kapitole 5. ČSN EN 1838. Svítidla použitá pro osvětlení tunelů musí splňovat požadavky na stupeň krytí nejméně IP 65.

Mechanické provedení musí zajišťovat snadnou výměnu svítidla bez využití speciálních nástrojů. Také elektrické předřadníky a světelný zdroj musí být při servisu jednoduše vyměnitelné.

Jas je měřen speciální CCD kamerou s měřicím rozsahem $1-9\,000 \text{ cd.m}^{-2}$. Kamera má normalizovaný proudový (4–20 mA) nebo napěťový (0–10 V) výstup. Krytí kamery musí být vyšší než IP54.

4.14 Údržba

Údržba tunelového osvětlení zahrnuje výměnu světelných zdrojů, čištění svítidel a jasoměrů, čištění stěn tunelu a činnosti spojené s údržbou elektrické části svítidel, rozvodu elektrické energie apod.

4.14.1 Výměna světelných zdrojů

Světelný tok emitovaný světelnými zdroji všeobecně klesá s časem. Změna světelného toku má být monitorována, aby bylo možno stanovit optimální interval výměny světelných zdrojů.

Řídicí systém eviduje počty hodin svícení u jednotlivých skupin svítidel. Je preferována systematická skupinová výměna světelných zdrojů, takže skupiny mají být vyměněny najednou v časových úsecích závislejících na poklesu světelného toku a délce života používaných zdrojů.

4.14.2 Údržba svítidel

Periodické čištění svítidel je nezbytné, jinak mohou být ztráty světelného toku téměř absolutní.

Jsou-li svítidla dostatečně dobře utěsněna proti proniknutí nečistot, potom při pravidelném čištění svítidel nemá být problémem udržovat světelné parametry. Intervaly mezi čištěním se mohou velmi lišit v závislosti na požadovaných parametrech osvětlení a na frekvenci projíždějících vozidel. Běžné čištění pak spočívá v čištění vnějších ploch světelně aktivních částí svítidel.

Údržba svítidel má být usnadněna jejich vhodnou konstrukcí, umožňující rychlý přístup ke světelným zdrojům, předřadnému zařízení apod. Důležitá je rovněž odolnost vůči korozi, spolehlivost utěsnění a možnost snadné výměny celého svítidla.

4.14.3 Čištění stěn tunelu

Ačkoliv efekt čistých stěn tunelu může být malý, pokud jde o příspěvek odraženého světla k celkovému výkonu, jsou žádoucí čisté tunelové stěny, protože jejich vyšší odraznost má vliv na vyšší kontrast (a tím vyšší viditelnost) objektů viděných proti stěnám a také dávají podstatný příspěvek k optickému vedení vozidel.

Intervaly čištění jsou různé podle dopravních podmínek, materiálu vozovky a stěn a mnoha faktorů potřebných pro získání požadovaných parametrů osvětlení.

4.14.4 Údržba jasoměrů

Je důležité zajistit pravidelnou kontrolu jasoměrů v příjezdových a prahových pásmech. Jejich kalibrace má být revidována alespoň jednou za rok, srovnáním s laboratorním standardem a srovnáním spotřeby energie s předešlým rokem buď v tomtéž nebo jiném, podobném tunelu.

V. Větrání tunelu

5.1 Požadavky

Větrání má zajišťovat následující funkce:

- zabezpečit koncentraci škodlivin ve vzduchu v tunelu v mezích nejvyšších přípustných koncentrací nejzávažnějších škodlivin, se zřetelem na dobu pobytu osob v tunelu a ve smyslu hygienických předpisů,
- zajistit dobrou viditelnost pro průjezd vozidel i při znečištění tunelového vzduchu způsobeného emisemi výfuků vznětových motorů a prachem a to s ohledem na povolenou rychlost vozidel v tunelu,
- snížení účinků kouře a tepla při požáru vozidla na osoby nacházející se v tunelu, včetně složek IZS,
- řízení rozptylu škodlivých látek ve vzduchu způsobených exhalacemi vozidel do okolí tunelu a tím snížení imisního zatížení okolí tunelu.

5.2 Zjištění požadavku na přídatný vzduch

5.2.1 Povolené koncentrace škodlivin

Imisní limity škodlivin v ovzduší jsou stanoveny zákonem o ochraně ovzduší 86/2002 Sb. a nařízením vlády 350/2002 Sb. „Imisní limity, podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší“. Hygienické limity látek v ovzduší na pracovišti jsou stanoveny nařízením vlády 178/2001 Sb. „Podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci“.

Vzhledem k době pobytu osob jedoucích ve vozidlech tunelem, doporučuje se uvažovat nejvyšší přípustné koncentrace nejzávažnějších škodlivin v ovzduší, odpovídající koncentracím přípustným pro pracovní ovzduší.

V tab. 5-1 jsou uvedeny doby pobytu osob v závislosti na koncentracích oxidu uhelnatého a druhu vykonávané činnosti dle PIARC, lit. [7].

Hodnoty odpovídají 3% limitní hodnotě vázání CO na hemoglobin. Při určování potřeby vzduchu při údržbářských pracích uvnitř tunelu je nutno brát navíc v úvahu hlediska bezpečnosti servisního personálu, neboť tyto práce lze provádět pouze v čase slabého provozu (pokud vůbec za provozu).

5.2.2 Základní škodlivé komponenty

Výfukové plyny, které jsou emitovány spalovacími motory obsahují zejména oxid uhelnatý, oxidy dusíku NO a NO₂, nespálené uhlovodíky CH_x a dále oxid siřičitý SO₂, cyklické uhlovodíky - zejména deriváty pyrénu, aldehydy - zejména akrolein, olovo, saze a olejovou mlhu. Střední hodnoty exhalací CO a opacity osobních a nákladních vozidel převzaté ze švýcarské směrnice pro větrání silničních tunelů z r. 2000, lit. [11], jsou sestaveny v tab. 5-3 až tab. 5-20. Pro použití v ČR jsou vzhledem k pozdějšímu zavedení řízených katalyzátorů (rok 1993) zohledněny emise CO, opacity časovým posunem pro léta 2000, 2005, 2010. Pro rok 2010 se předpokládá srovnatelný vozový park v ČR se Švýcarskem. Podíl osobních dieselových vozidel je uveden v tab. 5-2a,b.

5.2.3 Emise osobních vozidel

Výpočtové vztahy

Emise průměrného osobního vozidla s benzínovým motorem $e_{OV,B}$ je:

$$e_{OV,B} = (e_O \cdot f_Z \cdot f_H)_{OV,B} + q_{AR,OV}$$

Puls	Druh činnosti	Doba pobytu [h]	Koncentrace CO [ppm]
110	chůze	0,5	100
		1,0	60
		1,5	40
		2,0	35
135	těžší práce	0,5	80
		1,0	50
		1,5	35
		2,0	30

1 ppm = 1 částice v milionu (part per million) = 1 cm³ zplodin v m³.

Tab. 5-1: Doby pobytu osob v závislosti na koncentracích oxidu uhelnatého a druhu vykonávané činnosti

Emise průměrného osobního vozidla s dieselmotorem je:

$$e_{OV,D} = (e_O \cdot f_Z \cdot f_H)_{OV,D} + q_{AR,OV}$$

Z toho emise průměrného osobního vozidla e_{OV} je:

$$e_{OV} = (100 - a_{OV,D})/100 \cdot e_{OV,B} + a_{OV,D}/100 \cdot e_{OV,D}$$

pro CO je $e_{OV} = e_{OV,CO}$

pro opacitu je $e_{OV} = e_{OV,D}$

kde OV, B osobní vozidlo benzinové

OV, D osobní vozidlo dieslové

e_O [$\text{m}^3\text{CO}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{voz}^{-1}$] Základní emise škodlivin pro OV,B a OV,D [$\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{voz}^{-1}$]

f_Z [-] Časový faktor pro OV,B a OV,D

f_H [-] Faktor nadmořské výšky pro OV,B a OV,D

$q_{AR,OV}$ [$\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{voz}^{-1}$] Dodatečný přídavek – opacita

$a_{OV,D}$ [%] Podíl OV,D ze všech OV

$e_{OV,CO}$ [$\text{m}^3\text{CO}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{voz}^{-1}$] CO-emise průměrného OV

$e_{OV,D}$ [$\text{m}^2\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{voz}^{-1}$] Opacita – emise průměrného OV

Rok	2000	2005	2010	2015	2020
$a_{OV,D}$ %	7,6	8,5	8,8	9,2	9,6

Tab. 5-2a: Podíl osobních vozidel OV s dieselmotorem $a_{OV,D}$ k celkovému počtu osobních vozidel OV podle švýcarské směrnice z r. 2000

Rok	2000	2005	2010	2015	2020
$a_{OV,D}$ %	11,22	12,7	13,0	13,6	14,2

Tab. 5-2b: Podíl osobních vozidel OV s dieselmotorem $a_{OV,D}$ k celkovému počtu osobních vozidel OV pro ČR – údaj pro r. 2000 podle Sdružení automobilového průmyslu ČR.

5.2.3.1 Emise CO osobních vozidel s benzinovým motorem

v_R [$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$]	Sklon vozovky						
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169	0.0169
5	0.0243	0.0341	0.0439	0.0449	0.0486	0.0493	0.0542
10	0.0232	0.0320	0.0408	0.0421	0.0484	0.0498	0.0576
15	0.0234	0.0318	0.0402	0.0419	0.0486	0.0526	0.0643
20	0.0254	0.0343	0.0432	0.0452	0.0524	0.0603	0.0769
30	0.0276	0.0370	0.0465	0.0487	0.0566	0.0720	0.1032
40	0.0278	0.0374	0.0471	0.0493	0.0595	0.0890	0.1311
50	0.0280	0.0379	0.0477	0.0498	0.0615	0.1042	0.1628
60	0.0290	0.0392	0.0494	0.0516	0.0780	0.1446	0.2209
70	0.0300	0.0406	0.0507	0.0534	0.1066	0.2023	0.2907
80	0.0312	0.0422	0.0531	0.0555	0.1478	0.2572	0.3825
90	0.0374	0.0499	0.0624	0.0657	0.2097	0.3627	0.5517
100	0.0451	0.0608	0.0820	0.0868	0.2916	0.5334	0.8012
110	0.0748	0.1059	0.1551	0.1617	0.5354	1.0370	1.5170
120	0.1128	0.1633	0.2449	0.2539	0.8180	1.4850	2.0860

Tab. 5-3: CO-emise CO od OV,B [$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{voz}^{-1}$]

Rok	2000	2005	2010	2015	2020
f_Z	2,55	1,00	0,509	0,253	0,243

Tab. 5-4: Časový faktor pro OV, B a CO

Výška	0	400	700	1000	2000	3000
f_H	1,0	1,0	1,0	2,6	11,4	13,0

Tab. 5-5: Výškový faktor pro OV, B a CO

Pro CO je: $q_{AR,OV} = 0$

5.2.3.2 Opacita – emise osobních aut OV s benzínovým motorem

Opacita – emise osobního vozidla s benzínovým motorem OV, B je: $e_{OV} = 0$

v_R [km.h ⁻¹]	0	5	10	15	20	30	40	50
$q_{AR,OV}$ [m ² .h ⁻¹ , ov]	0,50	0,50	0,52	0,54	0,56	0,64	0,75	1,0
	60	70	80	90	100	110	120	
	1,3	1,6	2,0	2,4	2,8	3,3	3,8	

Tab. 5-6: Dodatečný příspěvek – opacita od OV, B $q_{AR,OV}$ [m².h⁻¹.voz⁻¹]

5.2.3.3 Emise CO od osobních vozidel s dieselmotorem motorem

v_R [km.h ⁻¹]	Sklon vozovky						
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052	0.0052
5	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0064	0.0067	0.0090
10	0.0088	0.0088	0.0088	0.0088	0.0088	0.0095	0.0123
15	0.0107	0.0107	0.0107	0.0107	0.0107	0.0118	0.0160
20	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0137	0.0154	0.0218
30	0.0173	0.0173	0.0173	0.0173	0.0173	0.0205	0.0276
40	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0211	0.0279
50	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0223	0.0279
60	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0194	0.0232	0.0279
70	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0209	0.0241	0.0279
80	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0223	0.0248	0.0279
90	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0243	0.0283	0.0303
100	0.0212	0.0212	0.0212	0.0212	0.0255	0.0313	0.0339
110	0.0263	0.0263	0.0263	0.0263	0.0280	0.0335	0.0368
120	0.0325	0.0325	0.0325	0.0325	0.0308	0.0312	0.0337

Tab. 5-7: CO -emise CO od OV, D [m³.h⁻¹. voz⁻¹]

Rok	2000	2005	2010	2015	2020
f_Z	1,62	1,00	0,716	0,493	0,477

Tab. 5-8: Časový faktor pro OV/D a CO

Výška	0	400	700	1000	2000	3000
f_H	1,0	1,08	1,14	1,20	1,50	1,81

Tab. 5-9: Výškový faktor pro f_H pro OV/D a CO

Pro CO není žádný příspěvek: $q_{AR,OV} = 0$

5.2.3.4 Opacita – emise osobních aut OV s dieselmotorem

v_R [km.h ⁻¹]	Sklon vozovky						
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	4.172	4.172	4.172	4.172	4.172	4.172	4.172
5	5.784	5.784	5.784	5.784	6.178	6.562	7.355
10	6.189	6.310	6.480	6.605	7.308	8.310	9.971
15	6.722	6.869	7.164	7.616	8.841	10.61	13.68
20	7.043	7.471	7.913	8.788	10.64	13.45	18.30
30	9.619	10.22	10.84	12.00	15.26	20.57	29.46
40	11.71	12.44	13.19	14.65	19.15	26.41	38.86
50	15.72	16.66	17.66	19.65	26.11	36.81	54.97
60	15.80	19.21	20.30	22.56	30.72	43.80	66.15
70	14.34	17.41	18.42	20.49	28.26	40.98	62.49
80	11.79	14.30	15.19	16.87	23.52	34.29	52.92
90	13.73	16.69	17.65	19.60	27.57	40.71	63.07
100	21.62	26.27	27.82	30.92	43.71	64.89	100.7
110	33.36	40.53	42.91	47.68	67.71	101.3	158.0
120	45.17	54.83	58.07	64.51	91.63	138.8	217.8

Tab. 5-10: Opacita – emise osobních aut s dieselmotorem e_O od OV/D [m².h⁻¹.voz⁻¹]

Rok	2000	2005	2010	2015	2020
f_Z	1,39	1,00	0,722	0,311	0,272

Tab. 5-11: Časový faktor pro OV/D – opacita

Výška	0	400	700	1000	2000	3000
f_H	1,0	1,00	1,00	1,00	1,25	1,50

Tab. 5-12: Výškový faktor pro OV/D a opacita

Dodatečný příspěvek – opacita od OV/D je stejný jako u OV/B – viz tab. 5-6.

5.2.4 Emise nákladních vozidel

Výpočtové vztahy

Emise jednoho nákladního vozu e_{NV} , je:

$$e_{N,V} = (e_O \cdot f_Z \cdot f_M \cdot f_H) + q_{AR,NV}$$

pro CO je $e_{NV} = e_{NV,CO}$, pro opacitu je $e_{NV} = e_{NV,T}$

NV	nákladní vozidlo	
e_O	[m ³ CO.h ⁻¹ .voz ⁻¹]	Základní emise škodlivin pro jedno nákladní vozidlo 10t [m ² .h ⁻¹ .voz ⁻¹]
f_Z	[-]	Časový faktor
f_H	[-]	Výškový faktor
f_M	[-]	Hmotnostní faktor
$q_{AR,NV}$	[m ² .h ⁻¹ .voz ⁻¹]	Dodatečný přírůstek – opacita
$e_{NV,CO}$	[m ³ CO.h ⁻¹ .voz ⁻¹]	CO – emise jednoho NV
$e_{NV,T}$	[m ² .h ⁻¹ .voz ⁻¹]	Opacita – emise jednoho NV

5.2.4.1 CO – Emise od nákladního vozidla NV

v_R [km.h ⁻¹]	Sklon vozovky						
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221	0.0221
5	0.0224	0.0224	0.0224	0.0449	0.0461	0.0482	0.0510
10	0.0245	0.0245	0.0245	0.0491	0.0517	0.0562	0.0619
15	0.0266	0.0266	0.0266	0.0533	0.0575	0.0643	0.0729
20	0.0284	0.0284	0.0284	0.0568	0.0631	0.0725	0.0840
30	0.0324	0.0324	0.0324	0.0648	0.0751	0.0897	0.1071
40	0.0362	0.0362	0.0362	0.0724	0.0881	0.1084	0.1289
50	0.0391	0.0391	0.0391	0.0783	0.1003	0.1269	
60		0.0435	0.0435	0.0869	0.1152	0.1330	
70		0.0481	0.0481	0.0961	0.1312		
80		0.0524	0.0525	0.1050	0.1341		
90			0.0591	0.1180			
100			0.0656	0.1311			

Tab. 5-13: CO – emise e_O od NV – 10t [m³.h⁻¹.voz⁻¹]

Rok	2000	2005	2010	2015	2020
f_Z	1,60	1,00	0,613	0,305	0,273

Tab. 5-14: Časový faktor pro NV a CO

Výška	0	400	700	1000	2000	3000
f_H	1,0	1,00	1,00	1,35	12,75	4,00

Tab. 5-15: Výškový faktor pro NV a CO

Pro CO není žádný příspěvek $q_{AR,OV} = 0$

Hmotnost [t]	v_R [km.h ⁻¹]											
	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90
10	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
20	1.8	1.8	1.8	1.80	1.8	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5
30	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3	2.1	2.0	1.9

Tab. 5-16: Hmotnostní faktor f_M pro NV, CO a opacita

5.2.4.2 opacita – emise od nákladního vozidla NV

v_R [km.h ⁻¹]	Sklon vozovky						
	-6 %	-4 %	-2 %	0 %	2 %	4 %	6 %
0	18.32	18.32	18.32	18.32	18.32	18.32	18.32
5	20.29	20.29	20.29	40.59	41.46	43.06	45.17
10	21.85	21.85	21.85	43.66	45.67	48.97	53.14
15	23.41	23.41	23.41	46.77	49.93	54.97	61.29
20	24.69	24.69	24.69	49.38	54.06	61.02	69.54
30	27.67	27.67	27.67	55.34	62.99	73.80	86.67
40	30.46	30.46	30.46	60.97	72.56	87.68	105.1
50	32.66	32.66	32.66	65.32	81.59	101.3	
60		35.87	35.87	71.74	92.63	117.1	
70		39.26	39.26	78.52	104.5		
80		42.56	42.56	85.07	117.6		
90			47.86	95.71			
100			53.17	106.3			

Tab. 5-17: Opacita – emise e_O od NV – 10t [m².h⁻¹. voz⁻¹]

Rok	2000	2005	2010	2015	2020
f_Z	1,58	1,00	0,572	0,166	0,125

Tab. 5-18: Časový faktor pro NV a opacitu

Výška	0	400	700	1000	2000	3000
f_H	1,0	1,00	1,00	1,12	1,69	2,26

Tab. 5-19: Výškový faktor pro NV a opacitu

v_R [km.h ⁻¹]	0	5	10	15	20	30	40	50
$q_{AR,NV}$ [m ² .h ⁻¹ .voz ⁻¹]	5,0	5,0	5,2	5,4	5,6	6,4	7,5	10
	60	70	80	90				
	13	16	20	24				

Tab. 5-20: Příspěvek opacita – emise $q_{AR,NV}$ [m².h⁻¹.voz⁻¹]

Hmotnostní faktor pro NV je pro CO a opacitu shodný a je uvedený v tab. 5-16.

5.2.5 Metodika výpočtu pro množství přiváděného vzduchu

Metodika výpočtu množství přiváděného vzduchu z hlediska oxidu uhelnatého a z hlediska opacity je v Příloze B.

5.2.6 Typické dopravní stavy

Tab. 5-21 obsahuje typické hustoty dopravy pro vybrané dopravní stavy tunelů pozemních komunikací. Úroveň dopravy (Level of Service) je zde charakterizována třemi stupni.

První stupeň „Plynulý provoz“ je ideální stav, kdy dochází k malé interakci mezi vozidly, vozidla jedou plynule a je umožněno bezproblémové přejíždění z pruhu do pruhu. V městském tunelu je průměrná minimální vzdálenost mezi vozidly vyšší než 30 m. Jízda se vyznačuje pohodou řidiče. Střední rychlost jízdy shluků vozidel je dána maximální povolenou rychlostí. Při nižších intenzitách dopravy lze počítat s tím, že nehoda v jednom jízdním pruhu nevyvolá zastavení provozu a šíření šokové vlny. Tento stupeň odpovídá stupni 1 ve smyslu TP154.

Druhý stupeň „Vážnoucí provoz“ je nestabilní stav dopravního proudu. Každá změna jízdního pruhu vozidlem vyvolává diskontinuity v dopravě. S rostoucí hustotou dopravy klesá rychlost z maximální rychlosti až na střední hodnoty do 10 km.h⁻¹. Jízda je charakterizovaná „Stop and Go“ vlnami a vyžaduje maximální koncentraci řidiče. V městském tunelu může být vzdálenost vozidel do 10 m. Každý exces v dopravě vyvolá okamžité šíření šokové vlny ve směru příjezdějících vozidel spojenou s tvorbou kolon. Tento stupeň odpovídá stupni 3-4 ve smyslu TP154.

Třetí stupeň „Kolony“ znamená vytvoření pomalu popojíždějících kolon vozidel. Vozidla jedou v těsném závěsu. Tento stupeň odpovídá stupni 5 ve smyslu TP154.

Silniční (meziměstský) provoz	v [km.h ⁻¹]	Maximální hustota na jízdní pruh [OV/km]	
		Silniční tunel	
		jednosměrný	obousměrný
♦ plynulý provoz	60	30	23
* vážnoucí provoz	10	70	60
● kolony	0	150	150
Městský provoz	v [km.h ⁻¹]	Městský tunel	
		jednosměrný	obousměrný
♦ plynulý provoz	60	33	25
* vážnoucí provoz	10	100	85
● kolony	0	165	165

Tab. 5-21: Typické hustoty dopravy pro vybrané dopravní stavy tunelů

Při přepočtu nákladních vozidel (NV) na osobní vozidla (OV) se zde volí koeficient 2. V tunelech s malým provozem a při plynulém provozu nelze očekávat dosažení špičkových hodnot dle tab. 5-21.

Stoupání tunelu vede při vyšších intenzitách nebo v případě jednoho jízdního pruhu bez možnosti předjíždění k redukování rychlosti na střední hodnotu rychlostí podle tab. 5-22.

i [%]	0	1	2	3	4	5	6
v [km.h ⁻¹]	80	80	70	55	45	40	35

Tab. 5-22: Závislost střední rychlosti na stoupání tunelu

Toto redukování rychlosti bývá zohledněno při stavebním návrhu tunelu pruhu pro pomalá vozidla, resp. se s ním počítá při návrhu ventilace.

5.2.7 Koncentrace zplodin v tunelovém vzduchu

Ke stanovení množství přídavného vzduchu pro větrání jsou pro různé možné dopravní stavy uvedeny v tab. 5-23 typické hodnoty koncentrací CO a hodnot opacity.

Dopravní stav	CO - koncentrace [ppm]		Opacita	
			Koeficient K	Přenos S (měřicí trasa 100 m)
	r. 2000	r. 2010	[$10^{-3} \cdot \text{m}^{-1}$]	[%]
Plynulý špičkový provoz $v = 50\text{--}100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	100	70	5	60
Denní kongesce, Stop and Go ve všech pruzích	100	70	5	60
Výjimečné kongesce	150	100	7	50
Delší údržbářské práce za provozu	30	30	3	75
Uzavření tunelu	250	200	12	30

Tab. 5-23: Typické hodnoty škodlivin pro různé dopravní stavy

Koncentrace oxidů dusíku je doporučována v maximální přípustné hodnotě $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

5.3 Požár v tunelu

5.3.1 Požadavky

V případě požáru je nutno chránit tunelem přecházející osoby technickými nebo stavebně technickými opatřeními před účinkem požáru a produktů hoření (teplo a dusivé, toxické plyny).

5.3.2 Směrodatné velikosti požáru

Zpravidla se při dimenzování odsávání kouře, resp. stanovení vzdálenosti pro únik bere za základ požár jednoho nákladního vozidla. Účinky požáru osobního vozidla jsou srovnatelně menší, zatímco ochrana proti požáru benzinové cisterny je možná jen za mimořádného úsilí a ne vždy účinně.

Pro dimenzování větrání pro případ požáru je uvažován jednotkový požár s tepelným výkonem 20 MW při množství kouře $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Při podílu nákladních vozidel nad 15 % je možno vycházet z tepelného výkonu mezi 30 MW a 50 MW a s množstvím kouře mezi $90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Typické hodnoty vyzářeného tepelného výkonu a množství zplodin pro návrh větracího systému jsou v tab. 5-24, lit. [11].

Druh automobilu	Vyzářený tepelný výkon [MW]	Průtokové množství zplodin [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
1 osobní vůz	5	20
2–3 osobní vozy nebo osobní mikrobuses	8–15	30
1 dodávkový vůz (malý městský autobus)	15–20	50
1 autobus nebo městský autobus bez nebezpečného nákladu	20–30	60–80
1 těžký nákladní vůz (nejhorší případ)	100	200
1 cisterna s benzinem (nejhorší případ)	200–300	300

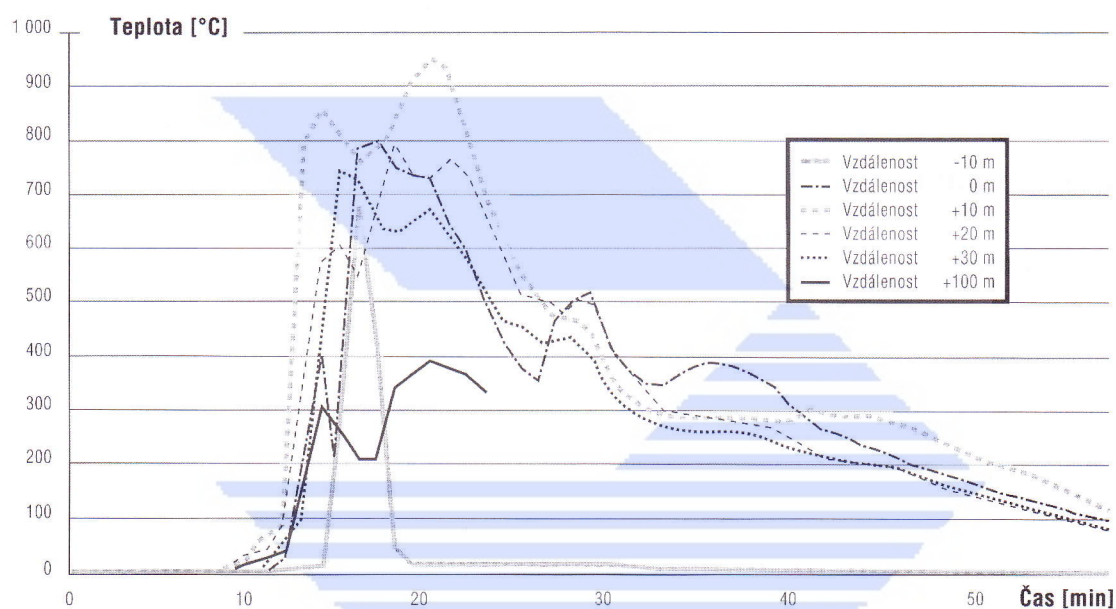
Tab. 5-24: Typické hodnoty vyzářeného tepelného výkonu a množství zplodin pro návrh větracího systému

Typické hodnoty teploty a její rozložení v závislosti na charakteru požáru jsou v následující tab. 5-25.

Vzdálenost [m]	Osobní vozidlo	Nákladní vozidlo	Cisterna s PHM
	teplota [°C]		
Pásmo hoření	600	900	1300
50	250	600	700
100	150	300	400
200	100	200	300

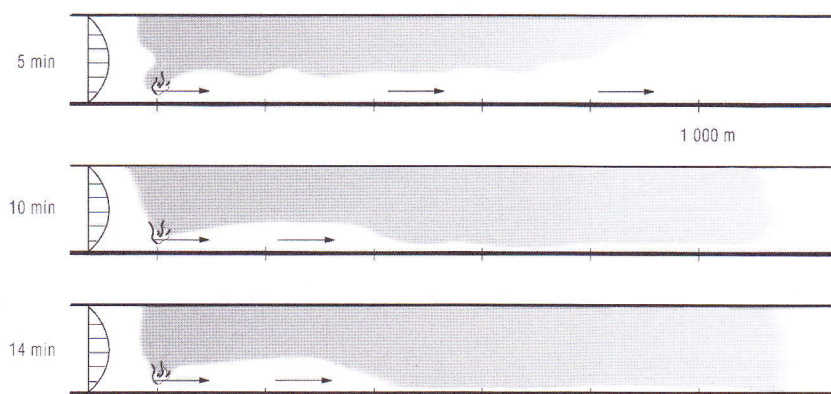
Tab. 5-25: Rozložení teploty v závislosti na charakteru požáru

Na následujícím grafu obr. 5-1 je skutečný průběh teplot zaznamenaný při hoření těžkého nákladního automobilu, kde je na horizontální ose zaznamenán čas od vzniku požáru a na vertikální ose jsou dosahované teploty. Teploty jsou zaznamenávány v různých vzdálenostech od pásma hoření požáru (0 m až do 100 m).



Obr. 5-1: Grafický časoprostorový záznam teplot hoření nákladního vozidla

Skutečně zjištěný průběh kouře při hoření dvou osobních vozidel v tunelu a při podélné rychlosti vzduchu 2 m.s^{-1} je na obr. 5-2:



Obr. 5-2: Průběh rozložení kouře v závislosti na čase

5.3.3 Řízení ventilace v případě požáru

V prvních minutách po vypuknutí požáru je, z hlediska bezpečnosti osob, rozhodující optimální řízení ventilace, aby bylo dodrženo rozvrstvení (stratifikace) kouře.

Optimalizaci řízení ventilace v případě požáru je nutno posoudit vždy v souladu s místními podmínkami a musí být řešena v projektové dokumentaci a v dokumentaci pro zdolávání požáru. Proudění vzduchu by zpravidla mělo probíhat ve stejném směru jako před vypuknutím požáru, při reverzaci ventilace je nutno vyhodnotit možné důsledky, zejména ve vztahu k evakuaci osob a časovým ztrátám. Rychlost proudění v místě požáru udává orientačně tab. 5-26 (převzato z lit. [11]). Při návrhu větrání je nutno vycházet z působení možného protivětru na obou portálech na základě údajů větrné růžice, jakož i z délky tunelu, a dále z intenzity a charakteru dopravy. V druhé tunelové troubě se zpravidla spouští větrání ve stejném směru jako v zasaženém tunelu, ale vždy s ohledem na situaci na dotčeném portále a zabezpečení evakuace, přičemž je nutno dodržet zásadu, aby ve všech záchranných cestách (tedy v tunelových propojkách atd.) a v nezasažené tunelové troubě byl zabezpečen přetlak oproti zasažené tunelové troubě.

Podélné větrání

Proudění musí probíhat dále ve stejném směru jako před vypuknutím požáru. Rychlost v místě požáru nutno dodržet podle tab. 5-26. Při návrhu větrání nutno vyhodnotit působení protivětru na obou portálech na základě údajů zařízení pro měření pohybu vzduchu. V druhé tunelové troubě nutno podélné větrání spustit ve stejném směru jako v zasaženém tunelu.

1. Jednosměrný tunel s plynulou dopravou

Směr dopravního proudu	Klesání	Stoupání
Teplotní difference $T_i - T_a$	+5 K	-5 K
Tepelný výkon	30 MW	Vliv požáru neuvažován
Minimální požadovaná rychlost a směr vzduchu	3 m.s ⁻¹ dolů	3 m.s ⁻¹ vzhůru

2. Jednosměrný tunel s častými kongescemi dopravy

Směr dopravního proudu	Klesání	Stoupání	Stoupání
Teplotní difference $T_i - T_a$	+5 K	+5 K	-5 K
Tepelný výkon	30 MW	30 MW	Vliv požáru neuvažován
Minimální požadovaná rychlost a směr vzduchu	3 m.s ⁻¹ dolů	1,5 m.s ⁻¹ dolů	3 m.s ⁻¹ vzhůru

3. Obousměrný tunel

Směr dopravního proudu	Obousměrný
Teplotní difference $T_i - T_a$	+5 K
Tepelný výkon	30 MW
Minimální požadovaná rychlost a směr vzduchu	1,5 m.s ⁻¹ dolů

Podélné větrání u nezasaženého tunelu bude řešeno ventilátory na vstupu, na výstupu omezit, aby v tunelu vznikl přetlak oproti zasažené tunelové troubě.

Přirozený vztlak vzduchu v tunelu závisí na rozdílu teplot uvnitř tunelu před požárem a ve venkovním prostředí ($T_i - T_a$). Nutno uvažovat min. 5 K. Dále je nutné ve výpočtu uvažovat místní meteorologické podmínky u obou portálů, a to zejména při dlouhých tunelech.

Příčné a polopříčné větrání

Zvyšuje se množství odsávaného vzduchu (kouřových zplodin) podle lit. [11] na:

- Tunel dvoupruhový, příčný průřez 40 m²: 120 m³.s⁻¹.
- Tunel dvoupruhový, příčný průřez 50 m²: 150 m³.s⁻¹.
- Tunel třípruhový, příčný průřez 65 m²: 195 m³.s⁻¹.

Přívod vzduchu přes stropní štěrbiny se odstaví. V místě požáru se otevřou odsávací požární klapky v rozteči cca 50 až 100 m, minimálně 3 kusy. Odsávací rychlost v klapce 12–15 m.s⁻¹. Ostatní klapky se uzavřou.

Během nejkratšího času musí být k dispozici celá odsávací kapacita vzduchotechnického zařízení. Toto předpokládá, že je místo požáru identifikováno bezprostředně po jeho vzniku pomocí automatického hlásiče požáru. Pro různé varianty požáru je nutno implementovat do řídicího systému zvláštní požární programy, které se aktivují automaticky a vykonávají předem dané funkce. V žádném případě nesmí být větrání odpojeno před příjezdem zásahových jednotek HZS. Zásahové jednotky HZS musí mít možnost ovládat ventilační zařízení přímo z dispečerského pracoviště dálkově manuálně.

Tab. 5-26: Podélné rychlosti proudění v tunelu pro dimenzování větrání při požáru (převzato z lit. [11])

5.3.4 Ochranná opatření

Teplý kouř se rozšiřuje rychlostí několika metrů za sekundu jako několik metrů tlustá vrstva podél tunelového stropu a to jednostranně nebo oboustranně od místa požáru, v závislosti na směru a síle proudění vzduchu. Nad jízdní dráhou se může zpočátku udržovat po vypuknutí požáru čistá vzduchová vrstva. Ve větších vzdálenostech od ohniska požáru se vzdálenost kouřové vrstvy od vozovky snižuje díky chladnutí kouře a díky směšování s proudícím vzduchem k ohnisku požáru. Po vypuknutí požáru jsou proto uvedeny do činnosti následující akce:

① Odsávání kouře

Kouř je v počáteční fázi odstranitelný z jízdního prostoru. K tomu slouží bodové odsávání pokud možno u stropu tunelu s odsávací kapacitou $120\text{--}195\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ pokud je použito příčné nebo polopříčné větrání. Při podélném větrání zajišťují ventilátory odvod kouře v daném směru.

② Větrání záchranných cest

Systém větrání záchranných cest musí být navržen tak, aby zajišťoval v případě nouzového režimu přetlak v záchranných cestách a šachtách oproti tunelové troubě v hodnotách od 30 Pa do 50 Pa v případě uzavřených dveří. Po otevření únikových dveří je potřebné zajistit rychlost proudění v profilu dveří $0,7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ z důvodu

zamezení vniknutí kouřových zplodin. Únikové komunikace je nutné řádně označit.

Teplotní odolnost zařízení systémů větrání záchranných cest je stanovena na $250\text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 90 minut. Únikové východy z tunelových trub do záchranných cest se doporučuje řešit jako přechodové komory s požárním uzávěrem a únikovými dveřmi s panikovým kováním. Systém větrání záchranných cest a šachet musí umožňovat pravidelnou výměnu vzduchu pro odvětrání vlhkosti ve všech příslušných prostorách. Systém vzduchotechnického potrubí záchranné cesty a šachty musí být při prostupu požárně dělicími konstrukcemi vybaven požárními klapkami v provedení EI 90, ovládanými automaticky.

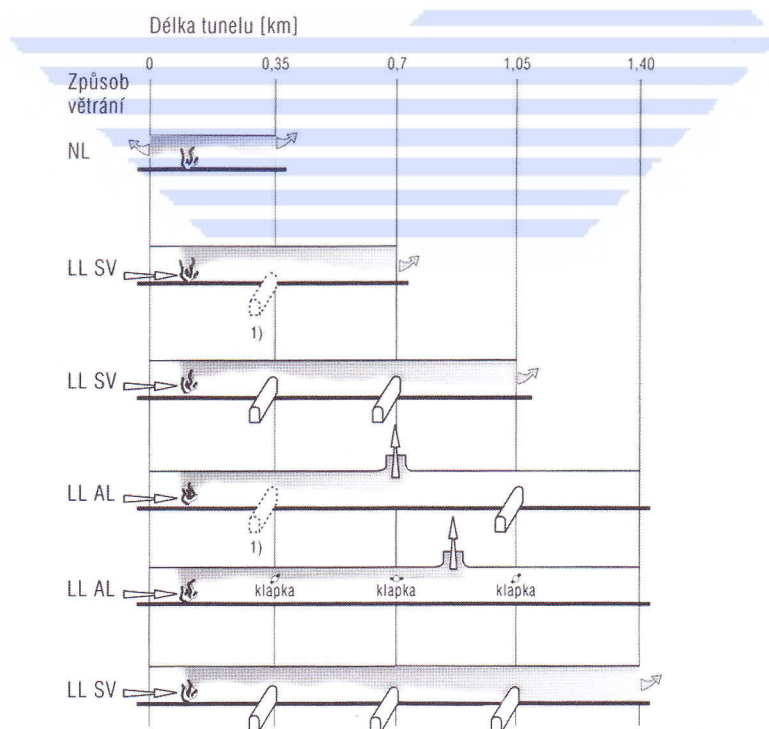
③ Opatření při jedné tunelové troubě s obousměrným provozem

Možné uspořádání únikových komunikací a odsávání kouře v tunelech s protisměrným provozem v jedné tunelové troubě je z hlediska minimálních opatření znázorněno na obr. 5-3.

NL přirozené větrání

LLSV podélné větrání s proudovými ventilátory

LLAL podélné větrání s odsávacím komínem a proudovými ventilátory



Obr. 5-3: Příklady uspořádání únikových komunikací a/nebo odsávání kouře pro různé délky tunelu s protisměrným provozem, upraveno z lit. [4]

Při užití podélného větrání s proudovými ventilátory je jejich počet stanovován tak, že při zaplněném tunelu do 75 % stojícími vozidly musí být střední podélná rychlost proudění podle údajů v tab. 5-26. Ve výpočtu je hodnocen vztlak vzduchu vznikající při požáru vozidla podle údajů přílohy B.

Nutno vyhodnotit protivítr na obou portálech tunelu na základě údajů větrné růžice.

④ Opatření při dvou tunelových troubách s jedno-směrným provozem

Při dvou a více vedle sebe situovaných tunelových troubách se realizují záchranné cesty tunelovými propojkami.

Záchranné cesty je nutno udržovat bez kouře. Při užití podélného větrání s proudovými ventilátory je jejich počet stanovován tak, že při do 50 % zaplněném tunelu stojícími vozidly musí být střední podélná rychlost proudění podle údajů tab. 5-26. Ve výpočtu je hodnocen vztlak vzduchu vznikající při požáru vozidla podle údajů přílohy B.

Tepelná resistance větracího zařízení

Odsávací ventilátory (oběžné kolo, vodící kolo, skříň a motory), které odsávají kouř přímo z jízdního prostoru, musí mít, po dobu 90 min, zajištěnou provozuschopnost při min. 400° C. Odsávací klapky umístěné v odvodním kanále musí zajistit provozuschopnost při teplotě min. 400° C po dobu 90 min. Odsávací ventilátory umístěné na konci odsávacích betonových kanálů a šachet, kde se silně uplatňuje vliv chladných stěn a odsávací ventilátory, které odsávají přes více odsávacích míst (klatek) z delšího úseku tunelu, jsou zpravidla dimenzovány na provozuschopnost při teplotě 250° C po dobu 90 min. Proudové ventilátory, včetně přívodních kabelů a upevňovacích konstrukcí situované v prostoru tunelu musí zajistit svým provedením provozuschopnost při min. 250° C po dobu 90 min. V tunelu při uvažovaném požáru větším jak 30 MW je potřeba vyšší teplota při které je zachována provozuschopnost proudových ventilátorů (max. 400° C po dobu 90 min.). Ventilátory umístěné v krátké vzdálenosti od požáru nemohou z důvodu vysoké teploty pracovat. Celkový počet proudových ventilátorů je z těchto důvodů prakticky snížen a je třeba toto zohlednit ve výpočtu podélného požárního větrání.

5.4 Imise způsobené tunelovým větráním

5.4.1 Požadavky

Exhalace vozidel v tunelu, které vycházejí z portálu, zvyšují v okolí portálu zatížení ovzduší škodlivinami.

Právní podklady pro určování imisní situace jsou dány předpisy pro provádění zákona o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami (nařízení vlády č. 178/2001, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci).

Při úvahách o imisích jsou směrodatné oxidy dusíku, benzol a částice sazí. Celkové koncentrace zatížení a přídavná imise způsobená vyfukováním škodlivých látek z tunelu (oxidu síry, olova, oxid uhelnatý), musí ležet pod odpovídajícími směrnými (předepsanými) hodnotami. Pro ostatní škodlivé látky, jako např. pro různé druhy uhlovodíků, neexistují žádné směrné nebo hraniční hodnoty.

5.4.2 Imisní průzkumy

Při plánování tunelu je nutné důkladně prozkoumat vliv vyfukovaného vzduchu na okolí tunelu. Doporučuje se proto, již ve stadiu přípravy projektové dokumentace, zpracovat imisní studii (např. v rámci studie vlivu na životní prostředí). Přednostně se doporučuje zpracovat počítačový model, který zahrnuje veškeré geografické a povětrnostní vlivy a umožňuje simulovat různé povětrnostní vlivy na okolí. Z tohoto modelu lze odvodit volbu větracího systému.

5.4.3 Tunelové větrání pro ochranu proti imisím

Imisní modely mohou určit, že vyfukování škodlivin z portálu tunelu musí být buď sníženo nebo zcela omezeno, čímž může být silně ovlivněna volba větracího systému. Aby bylo možno co nejvíce snížit a determinovat spotřebu energie při užití přídavných vzduchotechnických zařízení ke zlepšení imisní situace, je nutno oddělit zařízení pro ochranu vnějšího prostředí od větrání pro ředění vzduchu v jízdním prostoru.

K zabránění úniku škodlivin z tunelu se k portálům umisťují senzory pro měření rychlosti a směru proudění vzduchu, které při proudění z tunelu řídí ventilační systém tak, aby byl tento únik škodlivin omezen.

5.4.4 Čištění tunelového výfuku

V různých zemích se pracuje na koncepcích a zařízeních k odstranění mechanických a plynových podílů (NO_x , CO , SO) ze vzduchu v tunelu. V současné době jsou dosahovány dobré výsledky s čištěním pevných částic kontaminovaného vzduchu. Toto čištění má však poměrně vysoké nároky na spotřebu elektrické energie.

Při plánování tunelu je nutno zvažovat technicko-ekonomické parametry filtračních zařízení z hlediska dlouhodobé perspektivy minimálně 15 let.

5.5 Větrací systémy

5.5.1 Přirozené větrání

Přirozené větrání nevyžaduje žádné přídavné technické zařízení. Obměna vzduchu se realizuje díky rozdílu tlaku a teploty mezi portály a prostřednictvím vozidel způsobujících výměnu vzduchu tzv. pístovým efektem. Značný vliv na přirozené proudění má i směr převládajících větrů a celkový odpor tunelu pro procházející vzduch. Podle lit. [15] není nutné u tunelů kratších než 1 000 m a intenzitě dopravy menší než 2 000 voz.24h⁻¹ v jednom jízdním pruhu zavádět nucené větrání.

5.5.2 Některé aspekty přirozené ventilace

Obousměrný provoz

Při obousměrném provozu v tunelu vykonává sloupec vzduchu v tunelu kmitavé pohyby, které odrážejí fluktuace v hustotě a rychlosti provozu v každém směru. Tunelový vzduch se v oblasti u portálů mění rychle, v centrální oblasti tunelu se mohou hromadit zplodiny. Čím je vyšší intenzita provozu v tunelu, tím větší pozornost se musí věnovat centrální oblasti.

Jednosměrný provoz

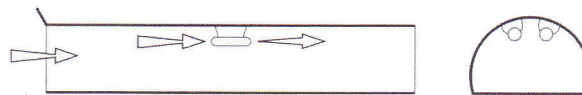
Ve směru jízdy vozidel se plně projeví pístový efekt (piston effect), takže samovolná ventilace postačuje často i pro několik kilometrů délky tunelu, zvláště při středně hustém provozu. V době špičkového zatížení, může koncentrace výfukových zplodin překročit limitní hladinu díky vysoké intenzitě vozidel. Stejně tak v době mírného dopravního zatížení, kdy protitlak způsobený rozdílem teplot nebo vítr působící směrem k portálu na výjezdu může zásadním způsobem omezit účinky samovolné ventilace.

Přirozená ventilace ve spojení s umělou ventilací

Energetické náklady na provoz ventilace lze významně snížit vhodnou kombinací přirozené ventilace s umělou. V mnoha tunelech s jednosměrným provozem bylo zjištěno, že přirozená ventilace rychle selže v případě použití přívodu čerstvého vzduchu do trouby (ať už bodovým zdrojem nebo distribuovaně podél délky tunelu) - umělá ventilace tak blokuje přirozenou. Pokud se ale stejné množství vzduchu současně z tunelu odvádí (bodové odvádění nebo distribuované odvádění paralelní s přívodem vzduchu - tj. příčná ventilace), negativní efekt se neutralizuje.

5.5.3 Podélné větrání

Podélné (longitudinální) proudění vzduchu v tunelu je realizováno obvykle proudovými ventilátory, obr. 5-4.



Obr. 5-4: Podélné větrání pomocí proudových ventilátorů

Podélné větrání tunelů se s výhodou používá při jednosměrném plynulém dopravním provozu. V obousměrných tunelech s častým zastavením vozidel je tento systém nevhodný a může být používán pokud bude zabezpečeno odvětrávání při požáru vozidla v tunelu.

Při podélném větrání přibývá koncentrace výfukových plynů mezi oběma portály od hodnoty, která je ve vnějším vzduchu, až k nejvyšší hodnotě u výstupního portálu, přibližně lineárně.

Rychlosti vzduchu v tunelu nesmí překročit hodnoty, podle údajů lit. [14]:

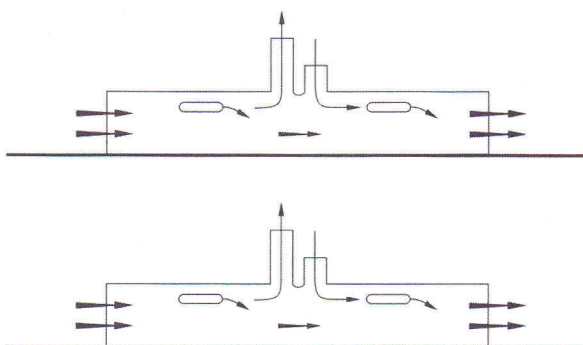
- při jednosměrném provozu 10 m.s⁻¹,
- při obousměrném provozu 8 m.s⁻¹.

Při podélném větrání je užitečný širší a vyšší profil trouby, jelikož jím může být dopravováno větší množství vzduchu, aniž by byla překročena přípustná podélná rychlost vzduchu.

V klenutých tunelech mohou být proudové ventilátory umístěny nad světlým profilem, aniž by se zvětšoval průřez tunelu. Pravoúhlé průřezy vyžadují většinou místní rozšíření v prostoru nouzových či otáčecích zálivů nebo stropní výklenky proto, aby ventilátory nezasahovaly do průjezdného průřezu tunelu.

Jestliže mají být zmenšeny výstupy vzduchu z portálů nebo omezeny hodnoty škodlivých koncentrací uvnitř tunelu, může být:

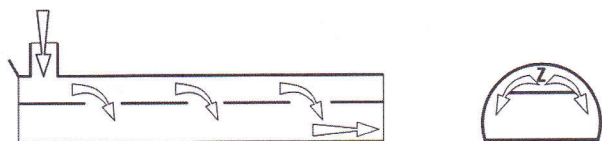
- u tunelů s jednosměrným provozem v prostoru výjezdového portálu a
- u tunelů s obousměrným provozem ve středním úseku realizován pomocný výfukový komín, kterým je odsáván kontaminovaný vzduch, obr. 5-5.



Obr. 5-5: Podélné větrání s pomocnými výfukovými komíny

5.5.4 Polopříčné větrání

Při polopříčném větrání je přídavný vzduch (Z) přiváděn separátním kanálem po délce tunelu, viz obr. 5-6 a je vyfukován v pravidelných vzdálenostech výustky v tunelové troubě.



Obr. 5-6: Polopříčné větrání

Vyfukovaný vzduch proudí portály do venkovního ovzduší. Množství vzduchu vystupujícího na obou portálech je dáno pístovým působením vozidel a rozdílem teploty a tlaku vzduchu.

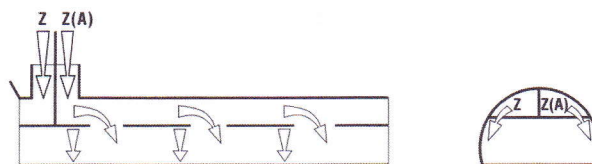
Při obousměrném provozu delším v tunelech delších než 3 000 m a intenzitě dopravy vyšší než 2 000 voz.24h⁻¹ na jízdní pruh a použití polopříčného nebo příčného větrání jsou instalovány samostatně ovládané požární klapky pro odvod kouře a tepla. Instalovaný řídicí systém zajišťuje ovládání vzduchotechniky, vč. měření podélné rychlosti proudění vzduchu.

Delší tunely jsou rozděleny na více větracích úseků. Počet větracích úseků je závislý na průřezu ventilačního kanálu, který je k dispozici, na potřebném množství vzduchu nutného k ventilaci a na přípustné rychlosti proudění vzduchu ve ventilačním kanálu (< 25–30 m.s⁻¹).

Při polopříčném větrání tunelu bude při požáru v tunelu použit přívodní vzduchový kanál opačně - pro odsávání kouřových zplodin pomocí reverzního chodu ventilátorů. V tomto případě musí větrací otvory ležet nad jízdním prostorem. Na větracích otvorech jsou osazeny dálkově ovládané požární klapky, které zajišťují bodový odvod kouřových zplodin při požáru.

Jestliže mají být zmenšeny výstupy vzduchu z portálů, může být, pro omezení imisí, realizován výfukový komín, kterým je odsáván kontaminovaný vzduch.

Další druh reverzního polopříčného větrání představuje polopříčné-příčné větrání, obr 5-7. Tento systém je tvořen dvěma vzájemně nezávislými rozdělenými kanály, kterými je přicházející vzduch (Z) vháněn do dopravního prostoru. Vycházející vzduch (A) proudí portály ven. V případě požáru se v jednom kanálu směr vzduchu obrátí tak, že jsou kouřové zplodiny odsávány. Druhým kanálem je přiváděn čerstvý vzduch.

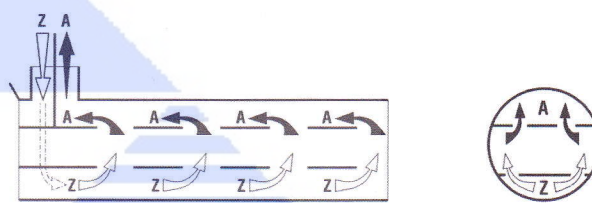


Obr. 5-7: Polopříčné - příčné větrání

Reverzace ventilátorů a změna směru proudění vzduchu při požáru ve větracím kanále je časově zdlouhavá a způsobí zdržení odsávání kouře z tunelu. Výhodnější a rychlejší je řešit odsávání kouře pomocí samostatného odsávacího ventilátoru přes větrací kanál bez změny směru proudění vzduchu.

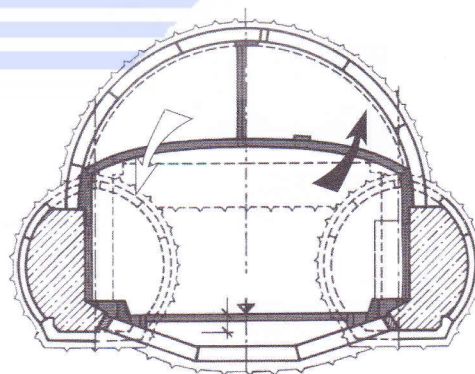
5.5.5 Příčné větrání

Při příčném větrání je čerstvý vzduch (Z) přiváděn do dopravního prostoru separátním distribučním kanálem a kontaminovaný vzduch (A) je odváděn podél tunelu sběrným kanálem z dopravního prostoru.



Obr. 5-8: Příčné větrání

Při požáru je čerstvý vzduch přiváděn shora nebo je vypnut v případě přívodu čerstvého vzduchu shora a kouřové zplodiny jsou odsávány u stropu z jízdního prostoru.



Obr. 5-9: Příklad příčného větracího systému

Příklad řezu městského tunelu s příčným větráním je na obr. 5-9. Rychlost vzduchu ve výústkách u stropu je vypočítána tak, aby bylo zaručeno, že je čerstvým vzduchem „omýván“ celý jízdní profil.

Kontaminovaný vzduch je nasáván otvory na opačné straně pod stropem.

5.5.6 Rozsahy použití větracích systémů

Při návrhu větracího systému pro tunel nelze postupovat univerzálním způsobem. V řadě případů mohou vést k nejlepšímu řešení kombinace různých systémů ventilace. Při každé volbě systému je primárním úkolem projektanta, dbát na co možná nejlepší využití přirozeného podélného větrání, způsobovaného provozem.

Vždy je však nutno splnit požadavky na škodlivé imise v okolí tunelu a ochranu účastníků dopravy před požárem. Dále je nutné navrhovat vzduchotechnické zařízení z hlediska působení hluku na účastníky provozu, resp. působení hluku na okolí tunelu. V tab. 5-27 jsou pro orientaci uvedeny rozsahy použití jednotlivých větracích systémů.

Tento informativní rozsah dle RABT je upřesněn a doplněn Direktivou evropského parlamentu, lit [15].

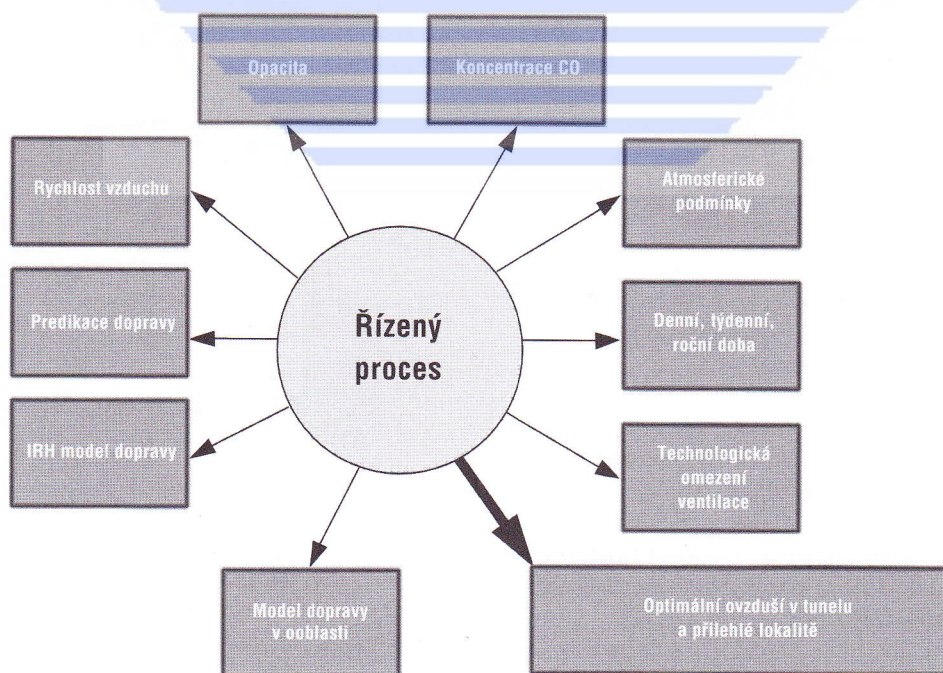
Ta říká, že u tunelů kratších než 1 000 m a intenzitě dopravy menší jak 2 000 voz.24h⁻¹ v jízdním pruhu není bezpodmínečně vyžadován ventilační systém.

5.6 Řízení větrání

Řízením větrání se má dosáhnout předpokládaných parametrů znečištění ovzduší s minimalizací spotřebované energie. Provozní náklady mohou často dosahovat značných hodnot. Proto musí použitý systém řízení zaručovat nejenom minimalizaci provozních nákladů, ale i minimalizaci počtu spínání a vypínání ventilátorů, bez které by docházelo k jejich předčasnému opotřebení a následné výměně.

Informativní rozsah použití ventilačních systémů [podle RABT 1994]		
	Délka tunelu [km]	
	Obousměrný provoz v jedné troubě	Jednosměrný provoz v jedné troubě
Přirozená ventilace (+ CO varovný systém)	Do 1	do 1 nebo do 2000 voz.24h ⁻¹ na jízdní pruh
Podélná ventilace	do 3	do 5
Polopříčná ventilace	od 3	od 4
Příčná ventilace	od 3	od 4

Tab. 5-27: Použití ventilačních systémů v závislosti na délce tunelu



Obr. 5-10: Funkční vazby při řízení vzduchotechniky

Z těchto důvodů se doporučuje pracovat s filtrovanými a predikovanými daty a využívat pro řízení principy umělé inteligence, jako např. Fuzzy logiky a neuronových sítí, lit. [17].

Základními vstupními daty do systému jsou:

- **koncentrace CO** - měřená ve více bodech,
- **koncentrace NO_x** - měřená ve více bodech,
- **opacita** - měřená ve více bodech,
- **predikovaná dopravní data** (krátkodobě [do 15 minut], dlouhodobě [řádově v hodinách]),
- **dopravní model** - statický a dynamický,
- **atmosférické podmínky** - v okolí tunelu,
- **koncentrace NO_x** v okolí výstupu tunelových trub,
- **časové parametry** - den, měsíc,
- **skladba dopravního proudu** - včetně okolí tunelu,
- **technologická omezení** - omezení počtu spínání ventilátorů za časový úsek.

Základní funkční vazby jsou v obr. 5-10. Nedoporučuje se řídit chod vzduchotechniky pouze na základě měření koncentrací škodlivin, neboť tyto veličiny vykazují velkou fluktuaci hodnot. Nezbytnou podmínkou je číslicová filtrace všech měřených hodnot. V úvahu je nutné brát stále vyšší podíl dieselových motorů a tím i vyšší význam řízení ventilace dle hodnot opacity.

Algoritmy systému řízení větrání v tunelové troubě a jeho funkce musí být navrženy tak, aby se při využití základních vstupních dat v maximální míře využilo při-

rozeného větrání a aby se minimalizovaly energetické nároky pohonů ventilátorů pro větrání tunelové trouby.

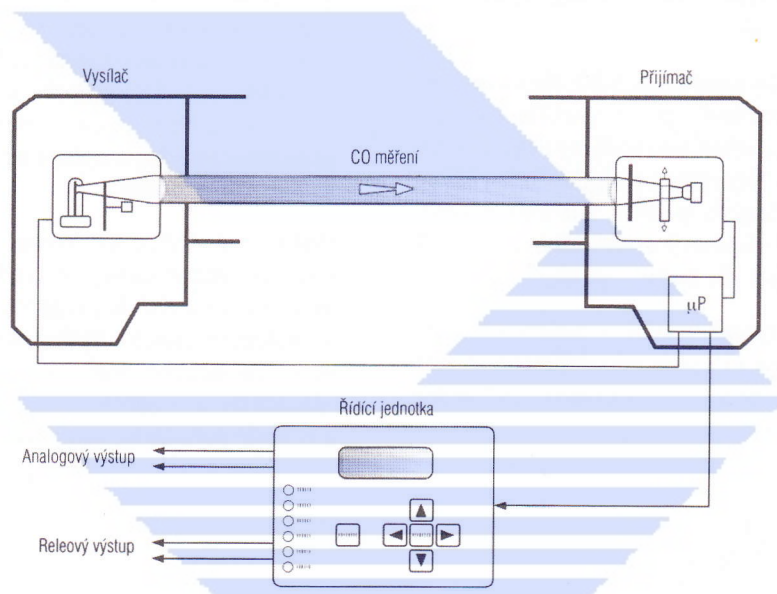
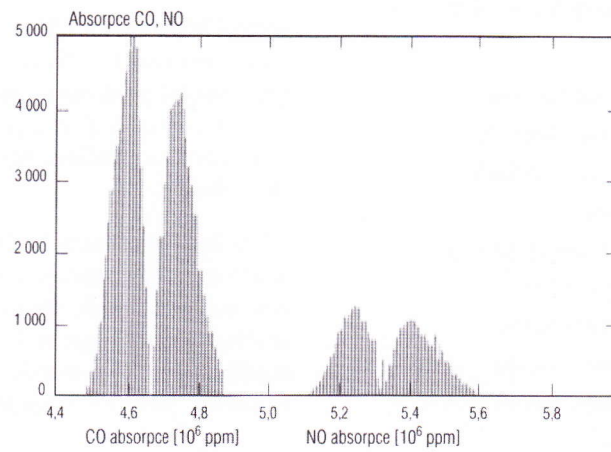
Měření koncentrace CO a opacity na více místech v tunelu (vzdálenost měřících míst 500 m až 800 m podle typu tunelu) poskytuje základní vstupní hodnoty pro řízení větrání. Při měření je nutno brát v úvahu, že mlha v prostoru za portálem nesmí mít vliv na řízení vzduchotechniky.

Při měření koncentrací CO a opacity se nedoporučuje používat měřiče pracující na mechanických nebo chemických principech, ale měřiče založené na spektrální analýze elektromagnetického paprsku v prostředí se škodlivinami. Tyto měřiče mají prakticky neomezenou životnost. Možný princip měření je na obr. 5-11.

Z hlediska požadavků na životní prostředí a pro efektivní řízení ventilace se doporučuje měřit navíc směr a velikost rychlosti proudění vzduchu v prostorech portálu, případně i teplotu, tlak a sluneční záření ve volném prostoru (mimo tunel). Zařízení pro měření směru a rychlosti proudění vzduchu v tunelové troubě, teploty a tlaku vzduchu se umísťují 30 až 50 m od portálu tunelu na obou koncích tunelové trouby ve výšce 3 až 3,5 m nad úroveň vozovky

Průběžným vyhodnocováním dopravních parametrů v tunelu i mimo tunel jsou předpovídány rychlé změny exhalací v tunelu. K předpovídání vývoje exhalací je v moderních řídicích systémech využívána krátkodobá nebo dlouhodobá predikce (předpověď) dopravy. Na základě těchto hodnot lze „předvětrat“ tunel tak, aby se zabránilo požadavku na extrémní změny ve větrání.

Absorbční spektra CO a NO



Obr. 5-11: Principiální schéma měřiče CO (přijímač, vysílač, vyhodnocovací jednotka)

VI. Bezpečnostní vybavení a bezpečnostní stavební úpravy

6.1 Bezpečnostní stavební úpravy

Každý tunel má zajišťovat vysokou míru bezpečnosti pro účastníky provozu na pozemních komunikacích. K tomuto účelu jsou provedeny bezpečnostní stavební úpravy. Navíc jsou v tunelu instalována zařízení bezpečnostního systému, která mají za hlavní cíl snížit riziko výskytu mimořádných situací a v případě, že vzniknou, zajistit maximální možnou ochranu pro účastníky této situace.

Bezpečnostní stavební úpravy závisí zejména na délce a příčném uspořádání tunelu, intenzitě vozidel, skladbě dopravy, způsobu dozoru a řízení provozu apod. Bezpečnostními stavební úpravy v tunelu zahrnují:

- nouzové pruhy,
- nouzové zálivy,
- otáčecí zálivy,
- únikové cesty v tunelu,

- nouzové chodníky,
- bezpečnostní plochy a úpravy.

Podrobný výklad je v ČSN 73 7507 (rev. 2004) „Projektování tunelů pozemních komunikací“ v kapitole „Bezpečnostní stavební úpravy“.

6.2 Bezpečnostní vybavení

Bezpečnostní technické vybavení tunelu je dáno zařazením tunelu do kategorií TA, TB či TC. Zařazení závisí na délce tunelu a predikované intenzitě dopravy a provádí se dle kap. 2 těchto TP.

Na základě přidělení tunelu do určité kategorie se tunel vybavuje povinně technickými prostředky nebo jsou tyto prostředky doporučeny. V případě doporučeného vybavení je konečné rozhodnutí dáno analýzou místních podmínek a je specifické pro každý tunel. Příslušné subsystémy či zařízení příslušející k bezpečnostnímu vybavení jsou uvedena v tab. 6-1.

BEZPEČNOSTNÍ VYBAVENÍ	TC	TB	TA
Hlásky nouzového volání			
• Hlásky nouzového volání	◆ ¹	◇	◇
• Poplachová tlačítka	◆ ¹	◇	◇
Systém videodohledu			
• Televizní dohledový systém (viz kap. 9.1)	◆ ²	◇	◇
Dopravní systém			
• Sběr dopravních dat (viz kap. 3.3 a TP154)	◆ ³	◇	◇
• Dopravní značení	◆ ⁴	◇	◇
• Zařízení pro provozní informace	◆ ⁵	◇	◇
• Světelné signály pro jízdu v pruzích	◆ ⁶	◇	◇
• Světelné signály S1a, S1b (viz kap. 3.2.5)	◆ ⁷	◇	◇
• Měření výšky vozidel	◆ ⁸	◇ ⁸	◇
• Mechanické zábrany	◆	◇	◇
• Reflexní elementy (dle kap. 3.2.7.1)	◇	◇	◇
• Identifikace dopravního excessu v tunelu	◆ ⁹	◇	◇
Spojovací a dorozumívací zařízení			
• Rádiové spojení	◆ ¹⁰	◇	◇
• Mobilní telefonní síť	◆ ¹⁰	◇	◇
• Ozvučovací zařízení	◆ ¹⁰	◇	◇
Evakuační vybavení			
• Nouzové únikové osvětlení tunelu	◆ ¹¹	◇	◇
• Bezpečnostní značení	◇	◇	◇
Požární zařízení			
• Automatické hlásiče požáru	◆ ¹²	◇	◇
• Tlačítkové hlásiče požáru	◆ ¹²	◇	◇
• Přenosné hasící přístroje	◇	◇	◇
• Požární hydranty	◆ ¹³	◆ ¹³	◇
Osvětlení tunelu			
• Normální osvětlení	◇ ¹⁴	◇ ¹⁴	◇ ¹⁴
• Náhradní osvětlení	◆ ¹⁵	◇	◇

◇ povinné vybavení

◆ požadovaná analýza potřeby a/nebo alternativního řešení s ohledem na bezpečnostní rizika, viz poznámky uvedené za tabulkou

Tab. 6-1: Rozdělení technických prostředků podle kategorie tunelu

Poznámky k tab. 6-1:

- 1 SOS hlásky s poplachovými tlačítky se u tunelů kategorie TC povinně instalují, pokud je délka tunelu ≥ 300 m a intenzita dopravy $\geq 2\,000$ ekvivalentních vozidel na den a jízdní pruh.
- 2 Systém videodohledu se povinně instaluje u tunelů kategorie TC, pokud je délka tunelu ≥ 300 m a intenzita dopravy $\geq 2\,000$ ekvivalentních vozidel na den a jízdní pruh.
- 3 U tunelů kategorie TC s intenzitami dopravy $\geq 10\,000$ ekvivalentních vozidel na den a troubu.
- 4 Požaduje se použít dopravního značení ve shodě s obr.3-4: Kriteria pro vybavení tunelu z hlediska dopravního značení a zařízení.
- 5 U tunelů TA a TB dle kap. 3.2.6. U tunelů kategorie TC se doporučuje použití u portálů, pokud jsou intenzity dopravy $\geq 10\,000$ ekvivalentních vozidel na den a troubu.
- 6 U tunelů kategorie TC s délkou ≥ 300 m se doporučuje použití, pokud jsou intenzity dopravy $\geq 10\,000$ ekvivalentních vozidel na den a troubu. Pokud se uvažuje s možností obousměrného provozu v jedné z tunelových trub, instalují se světelné signály oboustranné.
- 7 Světelné signály se nepožadují u tunelů kategorie TC, kratších než 200 m.
- 8 Není nutné pro tunely s podjezdnou výškou $\geq 4,8$ m, případně pokud je zabráněno vjezdu vysokého vozidla jiným způsobem (blízký podjezd s omezenou výškou atd.).
- 9 U tunelů kategorie TC s intenzitami dopravy $\geq 10\,000$ ekvivalentních vozidel na den a troubu a délkou ≥ 300 m.
- 10 Pokud je délka ≥ 300 m a intenzita dopravy $\geq 2\,000$ ekvivalentních vozidel na den a jízdní pruh, doporučuje se instalace spojovacích a dorozumívacích zařízení (viz kap. 7.1).
- 11 Pokud je délka ≥ 300 m a intenzita dopravy $\geq 2\,000$ ekvivalentních vozidel na den a jízdní pruh, doporučuje se instalace nouzového osvětlení únikových cest.
- 12 Pokud je délka ≥ 400 m, doporučuje se instalace automatických a manuálních hlásičů požáru.
- 13 Požaduje se v tunelech s délkou ≥ 400 m.
- 14 U tunelů kategorie TC kratších než 125 m se volí dle tab. A 3-3.
- 15 U tunelů s délkou ≥ 300 m nebo se zařízením pro odvod kouře a tepla (ZOKT).

Určujícími kritérii pro posuzování úrovně bezpečnosti uživatelů tunelů pozemních komunikací je rychlost, kterou jsou provozovatelé tunelu schopni poskytnout aktuální informace o dopravní situaci, dále rychlost,

s jakou je předána informace o jakékoli odchylce od běžného stavu a přenos informací a pokynů týkajících se nových podmínek s minimálním zpožděním k uživatelům (řidičům). Slouží k tomu různá zařízení, která lze dělit do tří kategorií:

- Zařízení poskytující řidičům informace: dopravní zařízení a dopravní značky, reproduktory, radiová komunikace apod.
- Zařízení poskytující informace provozovateli tunelu: uzavřené televizní okruhy, poplachová tlačítka apod.
- Zařízení pro oboustrannou výměnu verbálních informací mezi řidiči a dispečerem: telefony apod.

Mezi základní organizační opatření, která jsou všeobecně aplikována patří, že nebezpečné náklady jsou vyloučeny z přepravy v tunelech, pokud je tunel delší než 5 km nebo jde pod vodní hladinou.

6.3 Hlásky nouzového volání

Hlásky nouzového volání jsou základním prvkem bezpečnostního systému a slouží k navázání nouzové a případně i provozní komunikace s dispečerem dopravy. Kromě verbálního spojení zároveň umožňují spojení s dispečerem prostřednictvím poplachových tlačítek. Mohou být v provedení kabin SOS nebo hlásek SOS.

Kabina SOS je uzavřený prostor hlásky nouzového volání, určený rovněž pro umístění dalšího zařízení bezpečnostního systému. Hláska SOS je stojan nebo nástěnná skříňka s nouzovým telefonem, která se umísťuje zpravidla mimo dosah hluku, vyvolaného provozem tunelu.

Kabiny SOS se navrhují u tunelů delších než 300 m v pravidelných odstupech ≤ 150 metrů, zpravidla u tunelových propojek, nouzových zálivů, otáčecích zálivů a v cca poloviční vzdálenosti mezi tunelovými propojkami.

Kabiny SOS se instalují na jednu stěnu v jednosměrných tunelech a v případě obousměrných tunelů na obě stěny tunelu, zde se umísťují vždy proti sobě, s maximálním podélným odstupem 20 m.

Pro případ jednosměrných tunelů se kabiny SOS instalují pouze na pravou stěnu tunelu. Kabiny SOS jsou označeny informativní dopravní značkou IJ6 - „Telefon“ s nápisem SOS, viz obr. 6-1 a světelným signálem č. S7 „Přerušované žluté světlo“ v obou směrech jízdy.

Kabiny SOS nesmí být umístěny blízko za vjezdem do tunelu. Vozidlo stojící v tomto úseku je totiž pro projíždějícího řidiče nebezpečné, ten totiž právě přispůsobuje svůj zrak měnícím se světelným podmínkám v tunelu.

Hlášky nouzového volání v tunelu jsou osvětlené a jasně označené, zvukotěsné kabiny SOS nebo výklenky opatřené zvukotěsnými dveřmi, obr. 6-2. Doporučuje se užití dveří z 1/3 prosklených bezpečnostním sklem a opatřených automatickým zavíračem. Dveře se otevírají ven. Skříň je na přední části opatřena bezpečnostními značkami NE.05 „Hasičí přístroje“, NE.06 „Hlásič požáru“ a NE.10a,b „Únikový východ vpravo/vlevo“ dle ČSN ISO 3864. Minimální vnitřní plocha je 1,5 m² a výška je minimálně 2,25 m.



Obr. 6-1: Označení kabiny SOS

Stupeň krytí kabin SOS je minimálně IP54. Na kabině SOS je prosvětlené nebo reflexní číslo hlásky.

Kabiny SOS dále obsahují poplachová tlačítka opatřená piktogramy, ruční hasicí přístroje, základní vyprošťovací nástroje a servisní zásuvky rozvodu elektřiny 230 V, včetně třífázové zásuvky 3x230 V; 16 A.

Variantně mohou kabiny SOS obsahovat i skříňku první pomoci či ochranné masky, případně požární hydranty.

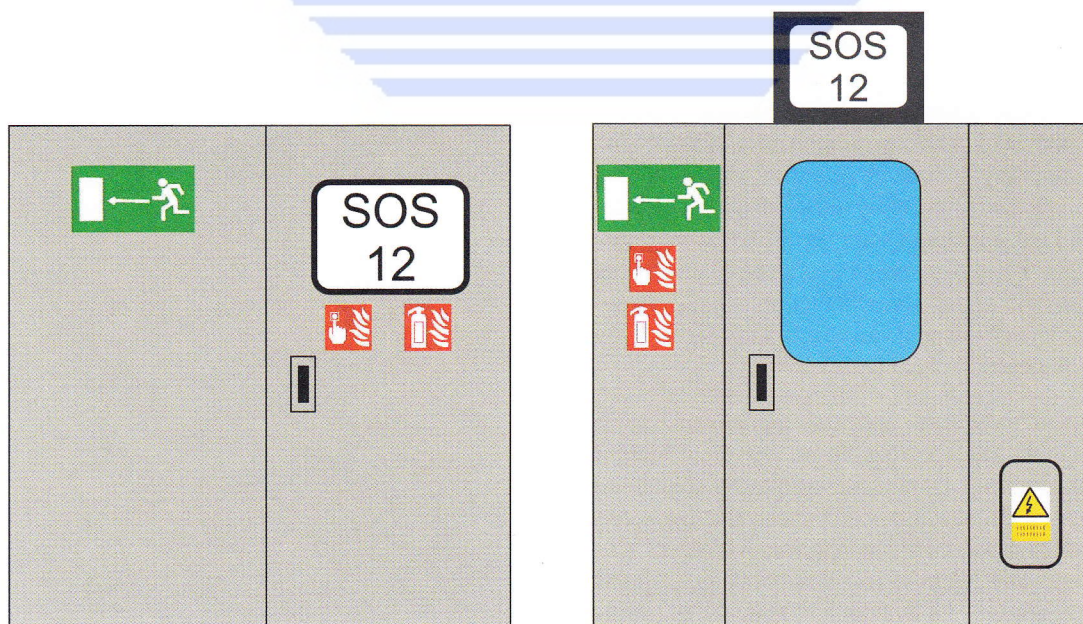
Skříňka první pomoci a ochranné masky přinášejí provozovateli tunelu komplikace dané nezbytností zvláštní péče a jejich umístění do kabin SOS je problematické a nedoporučuje se.

Otevření dveří do kabiny SOS musí být signalizováno žlutými přerušovanými světelnými signály č. S7 nad výklenkem nebo kabinou. Zároveň je na toto místo zaměřena kamera televizního systému. Na řídicím stanovišti, na monitoru počítače, případně i na přehledovém tablu je toto místo identifikováno.

Pro upoutání větší pozornosti na kabinu SOS se doporučuje opatřit ji akustickou signalizací, která vysílá trvalý nebo přerušovaný tón/tóny spínanou automaticky v případě požáru nebo manuálně v případě jiných druhů mimořádných situací.

Telefonní spojení

Telefonní spojení s operátorem dopravy se uskuteční automaticky po zvednutí sluchátka z vidlice nebo po vstupu do SOS kabiny v případě hlasitého telefonu. V zásadě se nepřipouští jakákoli manipulace s číselnicí nebo jiným zařízením pro uskutečnění spojení. Při použití hlasitého telefonu je nutné provést kabinu, vč. dveří akusticky tlumenou. Veškerá zařízení jsou v robustním, vandalu-vzdorném provedení. Zvednutím telefonu v kabině SOS je zároveň v dispečinku GT aktivováno automaticky záznamové zařízení, zaznamenávající verbální komunikaci s operátorem, spolu s údaji o čase a datu. Záznamy jsou ukládány nejméně po dobu 12 měsíců. Přednostně se instalují digitální záznamové prostředky.



Obr. 6-2: Příklad uspořádání skříně SOS

Telefonní hovory z hlásek nouzového volání jsou vždy přepojovány na nejbližší obsluhovaný stupeň řízení, tedy dispečink řízení dopravy GT. Systém musí umožňovat i propojit hovor z kabiny SOS se stanoveným operátorem IZS. Dále také identifikovat místo volajícího a zpětné volání operátora do kabiny SOS. Pro spojení hlásek nouzového volání s dispečinkem řízení dopravy GT je možné využít veřejnou telefonní síť.

Plnohodnotně je nutné komunikovat s hláskami nouzového volání i z lokálního velínu CT. Pokud je tento velín v obsluhovaném režimu, je sem přenesena priorita v komunikaci s těmito hláskami.

Poplachová tlačítka

V tunelech jsou poplachová tlačítka instalována v kabinách SOS. Poplachová tlačítka slouží uživatelům k signalizaci mimořádného stavu (porucha, nehoda, požár) do dispečinku řízení dopravy, bez nutnosti verbální komunikace.

Tlačítka jsou obvykle označena symboly (piktogramy), vyjadřujícími jejich funkci způsobem srozumitelným uživatelům všech národností, a proto jsou určena speciálně pro tyto uživatele. Mohou být v různém provedení:

- Dvě tlačítka (požární hlásič a silniční služba).
- Tři tlačítka (policie, požární hlásič a silniční služba).
- Tři tlačítka (policie, silniční služba, zdravotnická služba) a zvláštní tlačítko požárního hlásiče.
- Jedno tlačítko společné pro veškeré poplachové stavy a jedno oddělené tlačítko požárního hlásiče.
- Jedno tlačítko na vyvolání poplachu bez ohledu na příčinu.

Pro tunely v ČR je doporučena varianta s jedním tlačítkem. Uživatelé tunelu totiž často stisknou nesprávné tlačítko, případně stisknou tlačítka všechna. Tlačítka jsou podobně jako telefony propojena s řídicím dispečinkem dopravy v tunelu. Zvukový signál upoutá pozornost operátora, světelný údaj (displej počítače, tablo apod.) mu umožní snadno identifikovat stanoviště, ze kterého byl vyslán nouzový signál. Datum a čas aktivace tlačítek, spolu s identifikací nouzového stanoviště, musí být zaznamenáván automaticky a ukládán do paměti počítače.

Tlačítka jsou vybavena optickou signalizací, např. prosvětlováním, která se rozsvítí po potvrzení hlášení dispečerem dopravy. Doporučuje se použít stupňovité funkce tlačítek. Po stisku požadovaného tlačítka začne blikavá světelná indikace signalizovat provedení této akce. Přerušované světlo se změní na trvalé po přijmutí události dispečerem. Po deaktivaci kabiny SOS (opuštění na déle než 90 sekund) všechna tlačítka zhasnou.

Další prvky bezpečnostního systému jsou komentovány v kapitolách 7 až 9.

VII. Spojovací a dorozumívací zařízení

7.1 Rádiové spojení

Radiová komunikace umožňuje při zásahu spojení složkám IZS a usnadňuje i práci servisních složek. Poslech rozhlasových stanic oživí monotónní cestu tunelem, zprostředkuje řidiči styk s okolím, což má psychologický význam a umožní přenášet dopravní informace řidiči, což je navíc významným bezpečnostním prvkem. Mobilní telefonní síť se velmi osvědčuje jako další prostředek k bezprostřednímu ohlašování dopravních excesů cestující veřejností přímo v tunelu. Proto je nutné tunely vybavovat prostředky pro přenos mobilní telefonní sítě. Při návrhu systému je nutno počítat i s mobilní sítí 3. generace (UMTS).

Instalace rádiového zařízení také zajišťuje, kromě přenosu rozhlasové stanice a signálů mobilní telefonní sítě i duplexní spojení pro záchranné a servisní složky. Minimálně je nutné zabezpečit přenosy:

- alespoň jedné rozhlasové stanice s dopravními informacemi, kde přednost mají stanice s kanálem RDS-TMC (Traffic Message Channel),
- kanálu jednotek požární ochrany, záchranné zdravotnické služby a policie,
- alespoň jednoho kanálu provozní, resp. servisní služby,
- alespoň jednoho operátora mobilní telefonní sítě pro krizovou mobilní komunikaci³⁾.

Tunely kategorie TA a TB, se povinně vybavují pro příjem a vysílání vyzařovacím kabelem (anténou), který má stupeň krytí IP65 a je kmitočtově vyrovnaný až do 2 000 MHz. Anténa je umístěna tak, aby nemohlo dojít k jejímu mechanickému poškození a bylo možno ji čistit. V krátkých tunelech je možné použít namísto vyzařovacího kabelu klasickou anténu, pokud jsou zaručeny přenosové parametry. Tunely TC se vybavují, na základě posouzení bezpečnosti, alternativně prostředky rádiového spojení pokud je jejich délka větší než 300 m.

Pokrytí signálem je nutné zabezpečit i v technických a v pomocných prostorách a budovách, únikových cestách, na velínu apod., takže je zabezpečen přenos na mobilní radiostanice provozní služby v celé oblasti tunelu. Všechny instalované přenosové kanály jsou k dispozici nejméně 150 m od portálů.

Vyzařovací kabely pro dvě tunelové trouby mají vést střídavě v levé a pravé troubě tak, aby v případě poruchy jednoho kabelu byly obě trouby částečně pokryty rádiovým signálem z druhého kabelu.

Dále se doporučuje kabel rozdělit do více úseků. Kabely a jejich úseky jsou napájeny z obou stran.

Před vjezdem do tunelu se požaduje umístit značku, která uživatele informuje o frekvencích či vlnových délkách, na které si mohou naladit své přijímače. Dopravní značka je doplněna dvěma žlutými signály č. S7 aktivovanými řídicím systémem tunelu, pokud jsou předávány informace vztahující se k danému tunelu.



Obr. 7-1: Informativní dopravní značka č. J15

V případě potřeby má operátor dopravy možnost použít tento rozhlasový systém k předávání instrukcí nebo informací uživatelům (instrukce týkající se řízení vozidla, požadavek na vypnutí motorů, informace o příčinách a pravděpodobné délce zdržení v případě evakuace tunelu atd.) přímým vstupem do rozhlasového vysílání stanice přenášené do tunelu. Typová hlášení jsou předem zaznamenaná na magnetické pásce resp. digitálně v paměti počítače.

7.2 Ozvučovací zařízení

Ozvučovací zařízení je důležitou součástí bezpečnostního systému. Toto zařízení se instaluje v tunelech dle tab. 6-1. Prostřednictvím ozvučovacího zařízení má dispečer dopravy možnost předávat informace a instrukce uživatelům tunelu a to hlavně v případě mimořádných stavů, kdy vozidla stojí nebo se pomalu pohybují v kolonách. Požaduje se zajištění přiměřené srozumitelnosti v pomalu jedoucím vozidle (do 5 km.h⁻¹) s otevřeným okénkem. Základní hlášení jsou předem připravena na magnetickém médiu nebo v paměti počítače.

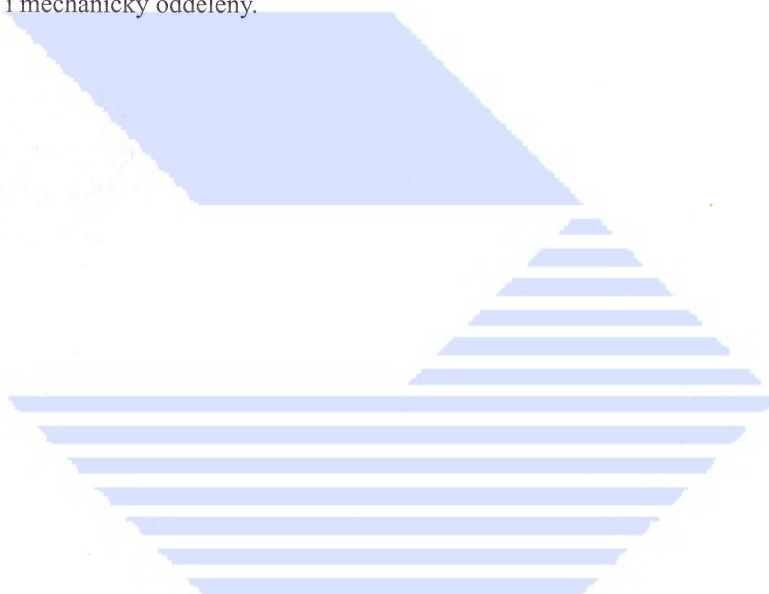
Reproduktory jsou umístěny i u portálů a u vstupů (vjezdů) záchranných cest. Při návrhu se sleduje hlavně hledisko dosažení přiměřené srozumitelnosti přenášené

³⁾ Usnesení vlády č. 1064 z roku 2001

hlasové informace. Doporučuje se využívat tlakových reproduktorů. Požadované krytí je IP54. Při návrhu je nutno brát zřetel na úroveň hluku okolí minimálně 90 dB. Přenášené pásmo leží mezi 350 až 3 500 Hz.

Ozvučovací zařízení plní funkci evakuačního rozhlasu při mimořádných událostech, hlavně při požáru. Je nutné, aby jej bylo možno ovládat signálem z EPS prostřednictvím řídicího systému. Při vyhlášení poplachu musí umožnit automatické odvysílání předem nahrané zprávy. Ovládání ozvučovacího zařízení je umožněno zásahovým jednotkám i z provozně technického objektu tunelu.

Pro zabezpečení spolehlivosti celého systému musí ozvučovací zařízení umožňovat autodiagnostiku jednotlivých částí systému (zesilovačů, vedení, reproduktorů) a informaci předat do řídicího systému. Pro zvýšení spolehlivosti je systém uspořádán do smyček (segmentů), které jsou elektricky i mechanicky odděleny.



VIII. Požární zabezpečení

Pravděpodobnost vzniku požáru způsobeného mechanickou nebo elektrickou závadou na vozidle (brzdy, pneumatiky, přívod paliva, zkrat atd.) je v tunelu stejná jako na otevřené komunikaci. Většina požárů, které vzniknou v tunelech, má tuto příčinu. K tomu dále přibývá možnost vzniku požáru při nárazu vozidel.

K požárům v tunelech dochází velmi zřídka, když k nim však dojde, situace je velmi vážná, především vzhledem k omezenému, uzavřenému prostoru s možnou koncentrací jedovatých plynů. Teplota snadno vzroste nad 1 000 °C a stejně snadno vznikne i panika mezi užívateli tunelu. Pro návrh EPS platí norma ČSN 73 0875.

8.1 Systém EPS

Všechny použité prvky a zařízení patřící do systému elektrické požární signalizace musí být schváleného typu a provedení. Zařízení dálkového přenosu (ZDP) musí být pro použití v ČR schváleny Generálním ředitelstvím HZS ČR. Při návrhu zařízení se vychází z ČSN 34 2710, která je postupně nahrazována řadou evropských norem ČSN EN 54 - 1; -2; -4; -7.

8.1.1 Tlačítkové hlásiče požáru

V každé SOS kabině nebo vně na její stěně je umístěno tlačítko pro manuální hlášení požáru. Tlačítka jsou propojena s řídicím systémem tunelu a dispečinkem prostřednictvím ústředny EPS (Elektrická Požární Signalizace). Zvukový signál upoutá pozornost operátora, světelný údaj na displeji mu umožní snadno identifikovat stanoviště, ze kterého byl nouzový signál vyslán. Datum, čas a místo aktivace tlačítek, musí být zaznamenáváno automaticky.

Tlačítkové hlásiče požáru jsou umístěny i v technologických prostorách tunelu dle požární bezpečnostního řešení a jsou připojeny na ústřednu EPS. Informace se z ústředny EPS přenáší i do řídicího systému tunelu. Pro umístění ústředny EPS platí ČSN EN 54-2 a dílčí projektové normy požární bezpečnosti staveb. Ústředna musí být umístěna v ohlašovně požáru. Spojení ústředny EPS a integrovaného řídicího systému dle kap. 10 je realizováno redundantně - kontaktními výstupy a sériovou komunikací.

8.1.2 Automatické hlásiče požáru

V tunelu délky ≥ 400 m jsou používány spolehlivé liniové hlásiče požáru, které reagují na absolutní hodnotu teploty a její vzestup v závislosti na čase. Hlásič

je umístěn nad průjezdným prostorem pod stropem tunelové trouby. Použité hlásiče v prostoru tunelu musí mít minimální krytí IP65. Pokud je tunel vybaven ventilačním zařízením, je liniový hlásič požáru požadován vždy, bez ohledu na délku tunelu.

Rozlišení detekce místa vzniku požáru v tunelové troubě by mělo být takové, aby operátor dopravy mohl v daném úseku ovlivnit řízení dopravy pomocí proměnných dopravních značek, resp. aby mohl být tento úsek uzavřen. Délka úseku pro rozlišení požáru je doporučena 50 m. Liniový hlásič požáru musí v čase do 1 minuty detekovat teploty odpovídající požáru 5 MW, který odpovídá hoření 20 litrů benzínu na ploše 4 m² při podélné rychlosti větru 3 m.s⁻¹ a výšce hlásiče 4,5 m.

Automatické hlásiče požáru je nutno též situovat do technologických (provozních) prostor se zařízením, zásadně ovlivňujícím činnost tunelu, jako jsou např. stanice napájení elektrickou energií, prostor s řídicími stanicemi. Jejich výběr se volí podle charakteru hlídání technologie.

8.1.3 Automatická detekce kouře

Senzory pro měření opacity mají velký význam pro identifikaci požáru v tunelu a je nutné je kombinovat s hlásiči požáru, neboť v některých případech umožní zjištění požáru dříve než reagují senzory teploty. Údaje o překročení prahových hodnot opacity jsou zahrnuty do algoritmů řídicího systému tunelu s tím, že dispečer dokáže na tyto události příslušným způsobem, a dle daných pravidel, reagovat. Prahová hodnota opacity, při které je vyhlášeno varování by měla být pro tunely v extravilánu okolo $K = 5-7 [10^4 \cdot \text{m}^{-1}]$ a pro městské tunely $K = 7-9 [10^4 \cdot \text{m}^{-1}]$. Kromě prahových hodnot se doporučuje pracovat s rychlostí nárůstu opacity. Strmost tohoto nárůstu musí být zahrnuta i do algoritmů řídicího systému.

Vzdálenost senzorů pro měření opacity má být do 300 m, pokud slouží i jako detektory požáru.

Pro zjišťování opacity se doporučuje využít i systém videodohledu. Ten je doplněn algoritmy pro identifikaci kouře. Obvykle se používá shodný systém pro video-detekci dopravních excesů s detekcí kouře. Zatímco detekce kouře, založená na senzorech pro měření opacity, vyvolává přímé reakce systému (uzavírání tunelu apod.), kouř indikovaný videosystémem vyvolává alarmy a upozorňuje obsluhu na potenciální nebezpečí.

8.1.4 Komunikace systémů EPS

V případě velinů tunelových technologií na úrovni CT, viz obr. 10-3, se předpokládá jejich provoz převážně v bezobslužném režimu. Obsluha je na velínu přítomna pouze při servisních pracích nebo v případě mimořádných situací. Vyhlášení požárního poplachu má, v závislosti na místě lokalizace, za následek automatizované spuštění předem naprogramovaných akcí obsluhujících krizové situace. Zařízení EPS musí být napojeno i na pult centrální ochrany operačního střediska HZS prostřednictvím Zařízení dálkového přenosu (ZDP). Pro přenos této informace lze rovněž použít takových prostředků, které mají zabezpečenou vlastní autodiagnostiku a dohled nad komunikací v celém přenosovém řetězci. Lze tedy využít funkcí řídicího systému tunelu. Pokud tyto prostředky ohlásí přerušení komunikačního řetězce, je tato událost až do příjezdu příslušných osob (dispečerů, servis) na tento lokální velín považována za 1. stupeň poplachu a obsluhy nadřazených velinů musí být na tuto záadu ihned upozorněny. Tento stav musí být podchycen v provozním řádu. Pokud je tunel vybaven videodohledem a jeho funkce není znemožněna, lze z hlediska požární bezpečnosti pokládat sledování situace v tunelu za dostačující opatření (až do odstranění závady).

8.2 Hasící zařízení

8.2.1 Přenosné hasící přístroje

Téměř každý požár vznikne nejprve jako malé ohnisko, které je snadné uhasit v počátku. Včasný zásah je proto nadmíru důležitý. Hasící přístroje jsou tím nejvhodnějším prostředkem, který dokáže nejdříve dostat požár pod kontrolu.

V každé SOS kabině jsou umístěny dva hasící přístroje práškové 6 kg schváleného typu (pro hašení motorových vozidel).

Velmi důležité je zajištění výměny prázdného přístroje za nový. To je zajištěno vysláním alarmového hlášení do řídicího systému při uvolnění (vyjmutí) hasícího přístroje z držáku a nutností potvrzení tohoto hlášení dispečerem. Vložení lze však provést jen zvláštním klíčem provozního personálu. Tím je zabráněno tomu, že zpět nebude vložen nefunkční přístroj.

8.2.2 Požární vodovod (vodní potrubí s hydranty)

Tunely musí být vybaveny potrubím tlakové vody (tab. 6-1), které musí být pro zimní období zajištěno proti zamrznutí. Potrubí se navrhuje pro průtok nejméně $2 \times 20 \text{ l.s}^{-1}$ a při tomto odběru hasící vody musí zásoba

vody pokrýt dobu nejméně 1 hodinu. Tunely delší než 1 000 m musí být vybaveny potrubím tlakové vody s průtokem nejméně $2 \times 20 \text{ l.s}^{-1}$ s dobou činnosti nejméně 2 hodiny, přičemž vždy je nutno vyhodnotit potřebnou dobu pro hašení pro nejsložitější variantu požáru při zpracování dokumentace zdolávání požáru, přičemž se bere v úvahu vyhodnocení intenzity a charakteru dopravy.

Potrubí tlakové vody musí být pro zimní období zajištěno proti zamrznutí, a dále nádrže se zásobou požární vody a potrubí musí být vybaveny zařízením umožňujícím připojení mobilní požární techniky.

Na výtoku v nejnepříznivějším místě musí být potřebný tlak dosažen během 80 sekund. Tento tlak musí být vyšší než 0,6 MPa, aby bylo ještě možné vytvořit hasicí pěnu a neměl by přesáhnout 1,2 MPa.

Požární hydranty v tunelových troukách se navrhují do výklenků v ostění vpravo ve směru jízdy (zpravidla v blízkosti SOS kabin) a na obou stranách tunelových propojek. Uzavírací ventily hydrantů musí být v nezamrzlé hloubce, nebo musí být proti zamrznutí zabezpečeny jiným vhodným způsobem (např. přídavným elektrickým vyhříváním).

Naopak se nedoporučuje vybavit hydranty pevně připojenými hadicemi; osoby, používající při zásahu proti požáru hydrant, si musí samy připojit hadice vhodné délky. Hydranty jsou opatřeny informačními štítky. Detailní řešení vodního potrubí s hydranty je předmětem zvláštní dokumentace a zde je uvedeno z hlediska úplnosti vazeb na řídicí systém tunelu.

8.2.3 Technická opatření a dokumentace zdolávání požárů

V návaznosti na zákon č. 133/1985 Sb. je u tunelů se zvýšeným a vysokým požárním nebezpečím nutné zpracovat dokumentaci požární ochrany v rozsahu stanoveném vyhláškou č. 246/2001 Sb. Základní součástí této dokumentace pro tunel je dokumentace zdolávání požárů, kterou tvoří zásady pro rychlé a účinné zdolávání požárů a záchranu osob a majetku. Rozsah operativních plánů, operativních karet, textové a grafické části této dokumentace zdolávání požárů stanoví výše citovaná vyhláška.

Pro každý tunel je nutno sestavit dokumentaci zdolávání požárů. Dokumentace zdolávání požáru se zpracovává pro objekty a prostory, ve kterých jsou složité podmínky pro zásah podle § 18 vyhl. č. 246/2001 Sb. o požární prevenci. Dokumentace zdolávání požáru musí obsahovat údaje o objektu (stavební podrobnosti a situování zařízení v tunelu; prostředky pro zdolání požáru; údaje o zásobování vodou a hasících přístrojích apod.).

8.2.4 Orientační pomůcky pro případ požáru

V případě požáru je osvětlení v tunelu vlivem kouře značně eliminováno a tak není vždy zcela možné rozeznání únikových a zásahových komunikací. Z tohoto důvodu musí být únikové cesty v tunelové troubě speciálně označeny a osvětleny. K tomu se používá nouzového osvětlení nechráněných únikových cest, například ve formě pruhu světla ve výšce cca 1 m nad úrovní povrchu nechráněné únikové cesty, reflexní nářetěry a bezpečnostní značky ve stejné výšce, informující unikající osoby o směru úniku a vzdálenosti k volnému prostoru nebo ke vstupu (vjezdu) do záchranné cesty, viz kap. 4.



IX. Systém videodohledu

9.1 Televizní dohledový systém

Televizní dohled v tunelu a přilehlých úsecích je důležitou součástí dopravního systému a nezbytnou součástí řešení mimořádných situací. Umožňuje operátoru dopravy v reálném čase pozorovat situaci v tunelu a v případě nehody, požáru, zpomalení proudu vozidel nebo jejich zastavení odstartovat předem připravenou akci a přesvědčit se, že tato akce splnila svůj účel. Pomocí videodohledu lze i dálkově měřit dopravní parametry.

Z hlediska současných poznatků je nutné videodohledem povinně vybavovat tunely, ve kterých jsou hlásky nouzového volání, tj. tunely delší než 300 m a s intenzitou dopravy $\geq 2\,000$ ekvivalentních vozidel za den a JP.

Televizní kamery umístěné vně tunelu (na přístupových komunikacích, prostranstvích, vjezdech a výjezdech) jsou vybavené objektivem s proměnnou ohniskovou vzdáleností (zoom) a je možné je libovolně je směřovat do prostoru komunikací. Tyto kamery jsou barevné.



Obr. 9-1: Kamera v povětrnostním krytu

Přehled o provozu v komplexu silničního tunelu poskytnou kamery rozmístěné tak, aby poskytovaly vizuální informace o celém podélném a příčném profilu tunelové trouby, nouzových zálivech, únikových cestách, odbočovacích a přídatných jízdních pruzích, situaci v okolí hlásek nouzového volání a o technologických prostorech. Odstupy kamer v tunelové troubě jsou od 50 do 100 m.

Jestliže se kamery využívají pro videodetekci musí pokrývat obrazem všechny jízdní pruhy a nouzové (veřejné) chodníky.

Kamery instalované v tunelové troubě jsou vystaveny stříkající vodě při údržbě tunelu a mají krytí minimálně IP65. Kamery v tunelu pracují v teplotním rozsahu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Kamery jsou orientovány tak, aby sledovaly provoz po směru jízdy. Kamery mohou být barevné i černobílé, doporučuje se však použití barevných kamer i v tunelu. Pro přenos signálu se doporučuje použití optických kabelů. Pohled na televizní kameru v krytu je na obr. 9-1.

V dlouhých tunelech je třeba nainstalovat velké množství kamer, není proto prakticky možné připojit každou k samostatnému monitoru. Doporučuje se řešení, které ke každému monitoru připojí skupinu osmi až deseti kamer, případně použití kvadrátizéru. Pohledy z jednotlivých kamer se pak na monitoru střídají nastavenou rychlostí, dle programu videoústředny. V případě mimořádné situace, identifikované řídicím systémem, se automaticky aktivuje příslušná kamera, snímající dotčený prostor a situace se vždy zobrazí na stejné poplachové monitoru.

Ústředna televizního systému je propojena s vybranými bezpečnostními zařízeními (hláskami nouzového volání, poplachovými tlačítky, hasicími přístroji, požárními detektory, detekcí kongescí a nehod vozidel) prostřednictvím řídicího systému tunelu. Poplachový monitor pak rovnou poskytuje pohled do místa, odkud přišlo hlášení o poplachu, případně poplachový signál. Jeden nebo více poplachových monitorů je předem navoleno a tím je mimořádný stav zobrazován vždy na stejné monitoru.

Videoústředna musí umožňovat ovládání z minimálně dvou operátorských klávesnic v případě, že operátor dopravy a operátor technologie pracují odloučeně na dvou různých pracovištích (oblastní velín tunelů GT - doprava; oblastní velín tunelů GA - technologie). Priorita v ovládání je u operátora dopravy. Vybrané televizní kamery mohou být začleněny i do oblastního velínu dopravy s tím, že prioritu v ovládání má oblastní dopravní velín tunelů.

V případě velínů GT a GA má přednost plnohodnotné ovládání kamer z obrazovek řídicího systému před použitím rozměrných nebo komplikovaných konzolí. Ovládání z obrazovek umožňuje i vyšší stupeň integrace řídicího signálu.

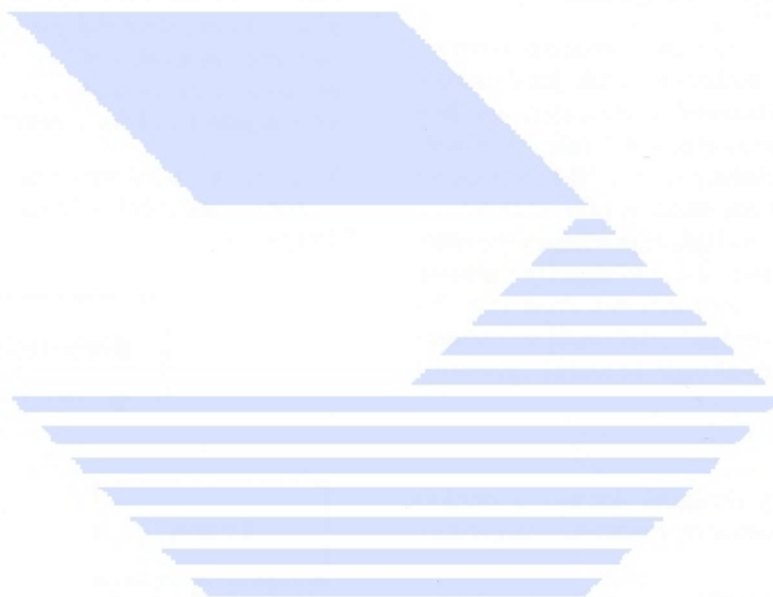
Při přenosu videosignálu z lokální úrovně velínu tunelu na nadřazený vzdálený velín je možné používat multiplexové systémy pracující on-line, ale připouští se i komprimace signálu, která vede k přenosu (update) televizního obrazu se zpožděním pod jednu sekundu.

Vzdálené kamery, integrované do systému tunelu, mohou využívat pro přenos veřejnou telefonní síť, vyžadující kompresi signálu, takže obrázek je obnovován

vždy za daný čas. Ten nemá převyšovat, v závislosti na dopravním řešení, dobu 5 sekund.

Pro přenosy signálů kamer, informací z kabin SOS a datové přenosy mezi lokálními velíny CT a dispečinky GA a GT se přednostně doporučuje využívat širokopásmové datové sítě a digitalizovaný televizní signál.

Pro automatizovaný záznam událostí a poplachů se používají záznamová zařízení s možností záznamu 12 až 24 hodin.



X. Řídicí systém tunelu

Tunely kategorie TC je nutné vybavit řídicím systémem pokud jsou vybaveny řízeným osvětlením nebo ventilační. V tomto případě řídicí systém integruje další provozní, bezpečnostní a kontrolní zařízení, která umožňují kontrolu a řízení provozu v tunelu této kategorie. Tunely vyšších bezpečnostních kategorií (TA, TB) jsou vždy vybavovány řídicím systémem. Pro jeho architekturu platí kap. 10.3.

Řídicí systém tunelu musí zajistit jako primární úkoly bezpečnost provozu a plynulost dopravy v tunelu při:

- dodržení daných bezpečnostních pravidel,
- zajištění ekologických požadavků, přičemž je nutno
 - minimalizovat provozní náklady,
 - maximalizovat spolehlivost systému.

Obecně se jedná o regulovanou soustavu tvořenou senzory jednotlivých funkčních celků, které snímají množinu vstupních parametrů a akceptory, což jsou výstupní členy zprostředkující styk s řidiči a zajišťují příslušné chování technologie, obr. 10-1. V každém časovém okamžiku musí řídicí systém identifikovat vstupní a interní proměnné tak, že je schopen této množině proměnných přiřadit jedinou výstupní proměnnou. Tato proměnná potom charakterizuje daný stav. Na základě předem vytvořených modelů systém vykonává příslušnou činnost vedoucí např. ke změně výstupního stavu.

Vstupní proměnné

- Dopravní parametry (intenzita dopravy a rychlost vozidel, stupeň obsazenosti detektoru, kategorizace vozidel atd.).
- Bezpečnostní prvky (indikace požáru, bezpečnostní tlačítka, telefony atd.).
- Fyzikální veličiny (měření koncentrace CO, opacity, směru a síly větru, teploty, tlaku, námrazy, jasu atd.).
- Videodohled v tunelové troubě i před portály.
- Technologické proměnné (kontakty stykačů, příkony, stavy čerpadel, klapky atd.).

Aktory

- Dopravní (proměnné) značky zákazové a příkazové.
- Dopravní (proměnné) značky výstražné a informační.
- Proměnné světelné signály pruhové signalizace č. S8a-S8d.
- Světelné signály č. S1a/S1b.
- Zařízení pro provozní informace (informační tabule).
- Speciální dopravní rozhlasové vysílání se vstupy do vysílání z centra řízení tunelů.

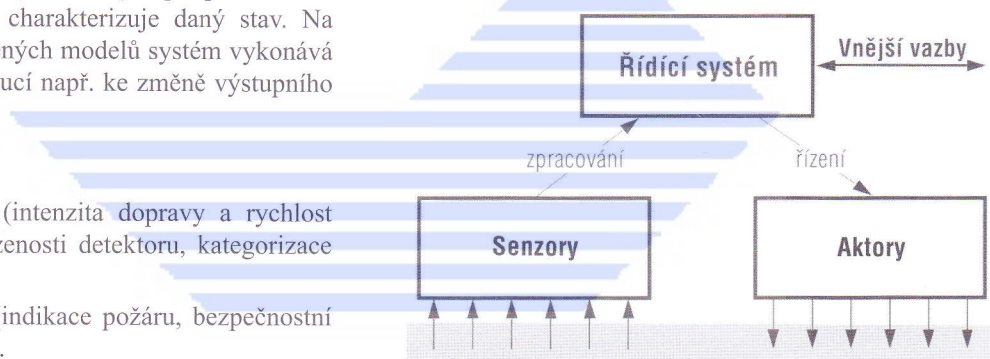
- Ovládání kamer videodohledu.
- Ozvučovací akustická zařízení.
- Řízené prvky rozvodů (elektro, voda atd.).
- Ventilátory.
- Svítidla apod.

10.1 Integrovaný řídicí systém

Integrovaný systém řízení tunelu zajišťuje, že veškeré vstupní a výstupní proměnné jsou k dispozici v libovolném čase a v libovolném řezu systému. Pro komunikaci mezi jednotlivými funkčními celky jsou používány jednotné nástroje.

Filosofie návrhu tohoto systému integruje sestavu různých zařízení, která řídí jednotlivé specifické procesy (doprava, napájení, ventilace, osvětlení atd.) do jednoho celku s jednotným přístupem a řízených a monitorovaných jedním řídicím systémem.

V komplexu silničního tunelu rozeznáváme řádný, zvláštní, mimořádný a havarijný režim, viz detailněji TP154.



Obr. 10-1: Základní schéma řídicího systému

Velmi důležité je definování rozhraní „člověk-technologie“. Pro dohled nad tunelem je činnost operátora nezastupitelná.

V normálním režimu provozu tunelu probíhá řízení tunelu zcela autonomně, bez zásahu operátora. Operátor však má nezastupitelné místo v případech zvláštního a nouzového režimu provozu tunelu. V dalším textu jsou tyto pojmy vysvětleny:

Normální režim provozu tunelu je charakterizován bezproblémovou činností technologie, nevyskytujícími se dopravní problémy a v tunelu nebo v technologických prostorách se neprovádí opravy nebo jiná servisní činnost, omezující řádný dopravní režim. Tento režim

provozu tunelu se také nazývá běžný, statický nebo standardní a je pro něj typická bezporuchová, automaticky řízená činnost všech systémů komplexu silničního tunelu.

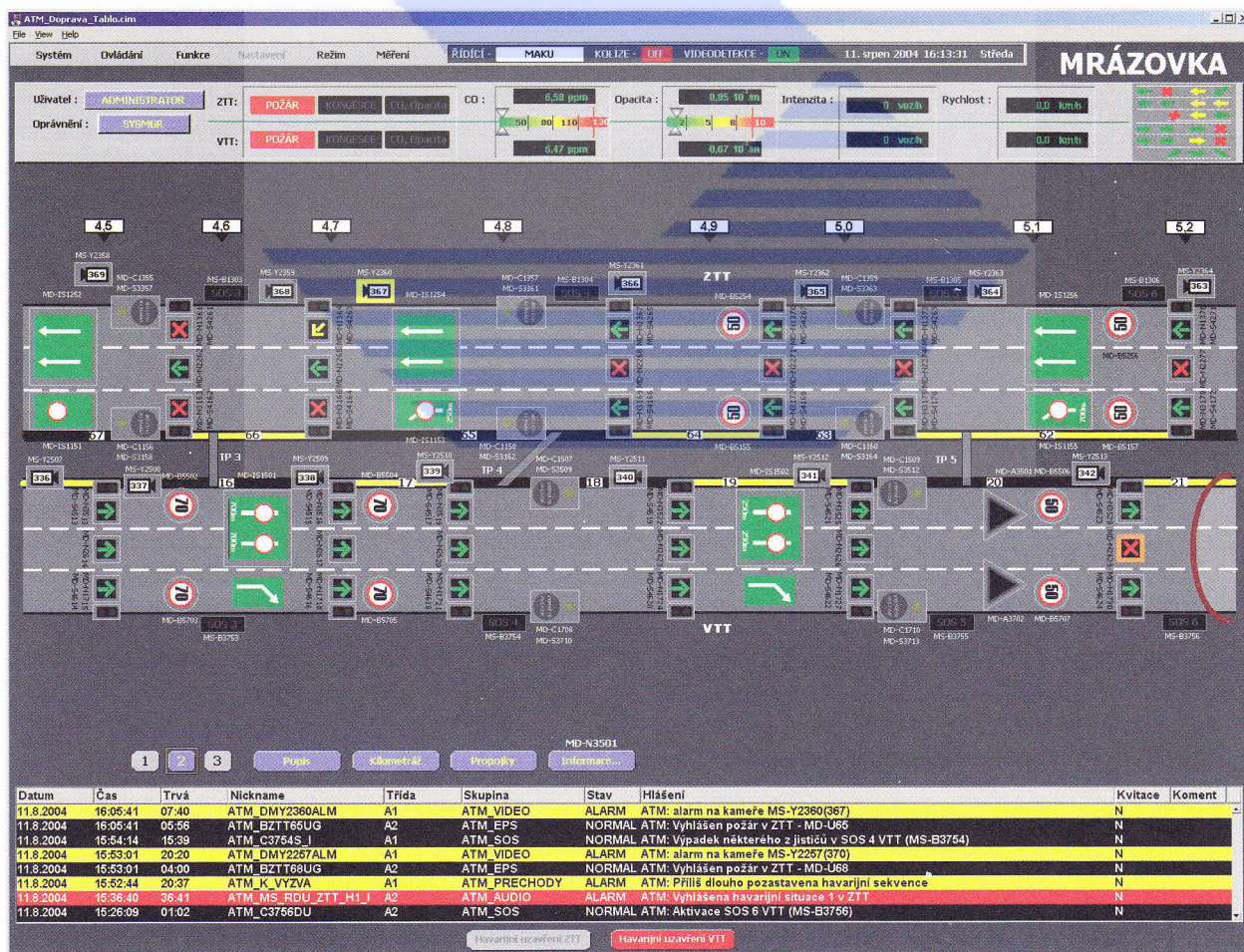
Zvláštní režim provozu tunelu bez účasti policie se vyskytuje pokud např. technologie pracuje v mimo tolerančním pásmu, není však ohrožena bezpečnost účastníků provozu ani personálu. Jedná se typicky o případ, kdy není technologie řízena automaticky a operátor řídí manuálně (porušený algoritmus řízení). Typickým příkladem jsou dále kontrolní a servisní činnosti v tunelu a v technologických prostorách, které jsou potenciálním zdrojem rizik a dalším příkladem je stav přeměrované dopravy (statický stav), například při uzavřené jedné troubě.

Dalším případem je rozsáhlý výpadek systému technologie nebo jeho rozhodujících částí, který může vést k uzavření tunelu. Pro režim řízení je charakteristický zvýšený dohled obsluhy nebo manuální řízení tunelu.

Zvláštní režim provozu tunelu s účastí policie lze rozdělit na dva typické příklady:

- V tunelu dochází k dopravním problémům, které způsobují tvorbu kongescí. Jedná se o „standardní“ režim, se kterým se musí počítat při návrhu tunelu, který řeší operátor z řídicího pracoviště policie změnou algoritmů nebo dálkovým manuálním řízením, bez nutnosti osobní účasti policie na místě;
- V tunelu došlo k dopravní nehodě nebo odstavení vozidla, které si vyžaduje účast policie na místě a spoluúčast operátorů dopravy a technologie. Přitom však není nutné přivolat další složky IZS. Stejně tak se může jednat o stav přeměrované dopravy (dynamický stav) pomocí dopravních opatření, které si obvykle vyžaduje účast policie.

Ve všech výše uvedených případech nebylo nezbytné nutně tunel uzavírat. Jiná situace je u následujících režimů, které si již vyžadují spoluúčast složek integrovaného záchranného systému, které také řídí veškeré záchranné práce. V tomto případě je nezbytné tunel uzavřít a dopravu odklonit.



Obr. 10-2: Příklad řešení obrazovky řídicího systému (©Eltodo dopravní systémy)

Nouzový režim provozu tunelu je charakterizován takovou mimořádnou událostí, která si vyžaduje na místě události v tunelu přítomnost policie a dalších složek integrovaného záchranného systému (HZS, záchrannou zdravotnickou službu apod.), jako např. u dopravních nehod většího rozsahu (se zraněními) a při požáru. Tento stav ohrožuje život, zdraví a majetek účastníků provozu na pozemních komunikacích nebo obslužného personálu.

Dopravní režim v tunelu je nezbytné upravovat, včetně jeho zastavení, v důsledku rozsáhlejších nehod, ohrožujících účastníky provozu na pozemních komunikacích, ve spolupráci se složkami integrovaného záchranného systému

Součástí nouzového režimu provozu tunelu je takový druh mimořádné události, která svým rozsahem, resp. svými dopady má vliv nejenom na život, zdraví a majetek účastníků provozu na pozemních komunikacích nebo obslužného personálu v souvislosti s tunelem, ale má také vliv na vlastní tunelovou stavbu a její širší okolí, případně na životní prostředí. Typickým příkladem může být únik nebezpečných látek ve velkém rozsahu, resp. rozsáhlý požár v tunelu s dopady na životní prostředí.

Dopravní provoz v tunelu je zastaven, nebo probíhá v omezeném rozsahu (např. vyklízení tunelové trouby), stanoveném v požárně bezpečnostním řešení stavby a havarijním plánem.

Všechny statické a většina dynamických (přechodových) dopravních stavů je řízena autonomně řídicím systémem a operátor pouze dohlíží na řízenou technologii. Rozhodování operátora je založeno na jednoznačné komunikaci s řídicím systémem. Obrazovky vizualizující jednotlivé funkční celky musí být přehledné a zcela jednoznačné. Příklad řešení obrazovky schématicky znázorňující dopravu je na obr. 10-2.

10.2 Charakteristické dopravní stavy tunelu

Integrovaný řídicí systém musí být schopen optimalizovat bezpečnost provozu, ekologické požadavky a ekonomii provozu při všech režimech provozu v tunelu. Systém realizuje následující hlavní funkce:

Řádný dopravní stav: řízení dopravy je redukováno na monitorování stavu a sběr dat pro statistické účely. Tento stav se vyskytuje nejčastěji. Hlavní úsilí je soustředěno na optimální řízení ventilace tak, aby se minimalizovaly provozní náklady. Také se optimalizuje provoz osvětlení.

Zvláštní dopravní stav bez účasti policie: kdy obsluha řídí manuálně nebo kontroluje jistá zařízení, případně zařízení pracují v mimo-tolerančním pásmu ale není ohrožena bezpečnost účastníků. Patří sem i výpadky jednotlivých provozních souborů (napájení, DZ atd.)

Dále se jedná o situaci, kdy stoupá hustota vozidel a tvoří se kolony. V městských tunelech se automaticky mění režimy světelné signalizace na vjezdech do tunelu, aktivují se objízdné trasy, ve vazbě na oblastní systém řízení dopravy GT. Do předepsané úrovně znečištění ovzduší zůstává tunel v provozu.

Zvláštní dopravní stav s účastí policie: kdy policie provádí řízení dopravy z důvodů dopravních problémů nebo probíhá odstraňování drobnějších nehod. Mezi tyto režimy patří i přesměrování dopravy do jedné trouby pro obousměrný provoz. Typickými příklady jsou:

- dopravní nehoda menšího rozsahu,
- zastavení vozidla pro nedostatek PHM,
- ztráta nákladu.

Mimořádný dopravní stav: je bezpochyby nejsložitější činností řídicího systému. Zahrnuje celý komplex procesů, jejichž cílem je zabránit chaosu, usnadnit činnost složek IZS, zachovat co nejlepší bezpečnostní podmínky pro účastníky provozu a obnovit co nejrychleji stabilní stav dopravy. Typickými příklady mimořádných situací jsou:

- dopravní nehoda většího rozsahu vedoucí k uzavření tunelu,
- trvalý nárůst koncentrace škodlivin nebo opacity nad mezní hodnotu,
- požár,
- únik nebezpečných látek při jejich přepravě,
- vznik náledí apod.

Reakce ŘS v případě mimořádné situace (požár, koncentrace plynů, opacita, vznik náledí) musí být automatická a musí nastat i případě výpadku komunikace řídicí stanice CT s nadřazenými vizualizačními úrovněmi (lokální velín, GA, GT, GG), viz kapitola 10.3.

Havarijní dopravní stav: má obecně dopady na širší okolí tunelu a je řešen zvláštními předpisy

10.3 Fyzická architektura řízení tunelu

Kapitola popisuje jednotlivé vrstvy fyzické architektury řídicích tunelových systémů od nejnižší vrstvy programových automatů, po integraci tunelů do systémů řízení dopravy v regionech, či na území státu. Popis vychází z obr. 10-3.

Jsou zde stanoveny i zásady pro fyzickou konfiguraci komunikačních tras a redundanci řídicích stanic.

10.3.1 Řídicí stanice v tunelu

Kapitola popisuje řízení na úrovni vrstvy CS, obr. 10-3. Základním prvkem, tvořícím systém řízení tunelu této úrovně, je programovatelný automat průmyslového typu nebo jednotka vzdálených vstupů a výstupů (CS). Programovatelný automat CS musí být nasazen v místech, kde je nutné zachování lokálních zpětných vazeb v případě výpadku komunikace s hlavní řídicí stanicí CT. V ostatních případech mohou být nasazeny jednotky vzdálených vstupů a výstupů bez lokální inteligence připojené k hlavní řídicí jednotce CT nebo lokálně nadřazenému automatu CS. Podmínkou použití takovýchto jednotek vzdálených vstupů a výstupů je zachování posledního stavu výstupu na jednotkách v případě výpadku komunikace s nadřazenou stanicí CT nebo lokálně nadřazeným automatem CS (uchování posledního scénáře aktivního před poruchou řízení).

Automaty a jednotky vzdálených vstupů a výstupů tvořící spodní vrstvu řízení tunelu (CS) jsou umístěny optimálně podél délky tunelu a jsou podřízeny hlavní řídicí stanicí CT. U delších tunelů se volí umístění stanic CS i z hlediska snížení nároků na kabelové propojení s jednotlivými zařízeními.

10.3.2 Lokální velín tunelu

Hlavní řídicí stanice CT je podstatnou částí řídicího systému. Řídí podřízené automaty a jednotky vzdálených vstupů a výstupů CS a komunikuje s dispečerskými pracovišti v lokálním velínu nebo s nadřazeným dispečinkem tunelů. Dále zajišťuje záznam dat a umožňuje řízení zásadních technologických celků nebo nouzové odstavení vybraných zařízení. Reakce stanice CT v případě mimořádné situace (požár, koncentrace plynů, opacita, vznik náledí) musí být automatická a musí nastat i případě výpadku komunikace řídicí stanice CT s nadřazenými vizualizačními úrovněmi. CT je obvykle umístěna v lokálním velínu tunelu.

U tunelů kategorie TA, TB musí být stanice CT redundantní v režimu „hot-stand-by“, dále musí být rovněž redundantní komunikační vedení k podřízeným programovatelným automatům a jednotkám vzdálených vstupů a výstupů CS. U tunelů se dvěma a více tunelovými troubami je nutné umístit redundantní větve komunikačního vedení separátně do každé tunelové trouby tak, aby v každé tunelové troubě byl zajištěn plně redundantní tok dat. U obousměrných tunelových trub je nutné redundantní vedení umístit do oddělených kabelových tras, nejlépe po obou stranách vozovky.

Lokální velín musí být vybaven alespoň jedním plnohodnotným operátorským pracovištěm dopravy i technologie, tak aby v případě výpadku komunikace s nadřazenou úrovní bylo možné operativně převzít řízení z lokálního velínu. V případě existence nadřazené úrovně řízení GT a GA je provoz lokálního velínu bezobslužný.

10.3.3 Pracoviště dispečerů dopravy a technologie

Na vyšší hierarchické úrovni řízení (úroveň oblasti) jsou zřízena pracoviště dispečerů dopravy (GT) a technologie (GA). Tato pracoviště mohou být součástí jednoho lokálního velínu tunelu nebo jsou součástí oblastních velínů řízení dopravy a řízení technologie více tunelů. Zde se provádí supervize tunelů, kontroluje se činnost zařízení a v případě mimořádných situací se zde, podle předem připravených scénářů, provádí ruční dálkové řízení prostřednictvím stanic CT. Operátor dopravy řídí dopravní režimy v tunelu, případně před tunelem, operátor technologie řídí ostatní zařízení. V případě výpadku komunikace s řídicí stanicí CT je nutné operativně zajistit dispečerské řízení dopravy i technologie z lokálního velínu.

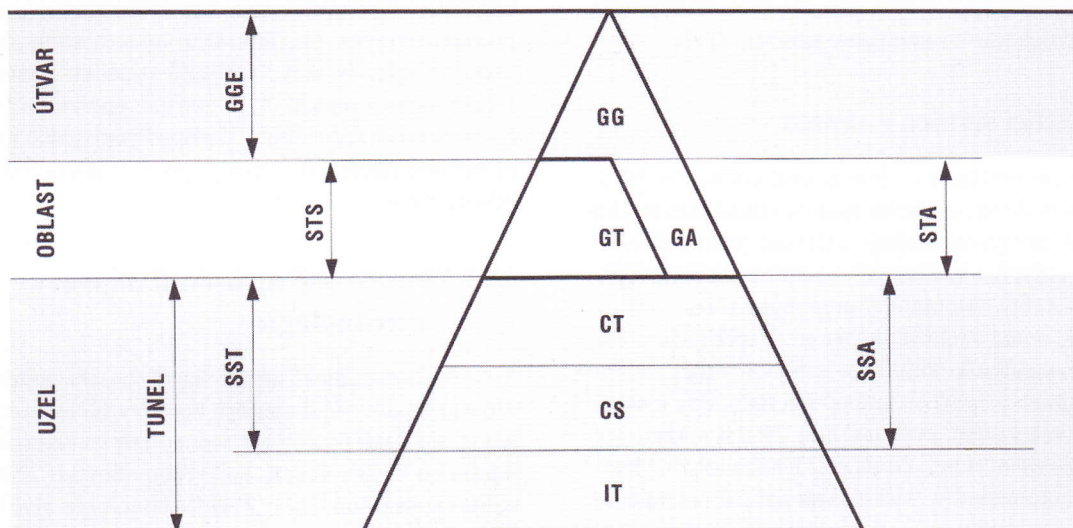
Obecně se řízením dopravy rozumí dynamické ovlivňování dopravního proudu, realizované následujícími prostředky:

- zastavováním;
- změnou směru (navigováním);
- změnou rychlosti.

Tyto operace zajišťuje operátor dopravy. Detailní vymezení vazeb a kompetencí mezi dispečerem dopravy a dispečerem technologie je zpracováno v Provozním řádu (viz TP154).

Výše uvedené tři hierarchické vrstvy je nutné používat u tunelů s vyššími intenzitami dopravy a s vyšší možností výskytu mimořádných událostí (kategorie TA, TB).

Vzdálenost dispečinků tunelů GA a GT od vlastních tunelů není rozhodující a může být v řádu desítek kilometrů, pokud je zajištěna součinnost lokálních složek IZS a komunikační spojení je redundantní.



Obr. 10-3: Architektura tunelových systémů, lit. [16]

V obr. 10-3 značí:

GG	dispečink řízení dopravy - úroveň útvaru
GT	dispečink řízení dopravy tunelů (oblast)
GA	dispečink řízení technologie tunelů (oblast)
CT	hlavní řídicí stanice v tunelu a lokální dispečink tunelu
CS	programovatelné automaty a moduly vzdálených vstupů a výstupů v tunelu
IT	technická zařízení tunelu (dopravní značky, ventilátory, ...)
GGE	systém řízení dopravy - úroveň útvaru
STS	systém řízení dopravy - úroveň oblasti
SST	systém řízení dopravy - úroveň uzlu
STA	systém řízení technologie - úroveň oblasti
SSA	systém řízení technologie - úroveň uzlu

10.3.4 Integrace do systému řízení dopravy

V nejvyšší vrstvě obr. 10-3 je naznačen integrovaný systém řízení dopravy GG, který řídí dopravu na úrovni útvaru, tj. na úrovni města nebo regionu. Plynulost dopravy na pozemní komunikaci je primární funkcí tunelu, ale vzhledem ke svým specifickým je kladen mimořádný důraz i na bezpečnost. Integrace tunelu do dopravního systému je řešena v následujících úrovních:

Integrace 0. úrovně: tunel/tunely nejsou propojeny na dopravní řídicí systém a pracují autonomně. Informace o událostech a excesech jsou předávány verbálně. Dispečer GG volí příslušné scénáře řešení situací na úrovni útvaru manuálně.

Integrace 1. úrovně: tunel/tunely jsou komunikačně propojeny na dopravní řídicí systém a automaticky předávají informaci o mimořádných režimech. Dispečer GG volí příslušné scénáře řešení situací na úrovni útvaru manuálně.

Integrace 2. úrovně: tunel/tunely jsou komunikačně propojeny na dopravní zařízení (dopravní řadič, proměnná dopravní značka atd.), která reagují na mimořádnou událost typu „požár“ tím, že zastaví nebo omezí dopravu na vjezdu do tunelu. Dispečer GG volí příslušné scénáře řešení situací na úrovni útvaru manuálně.

Integrace 3. úrovně: tunel/tunely jsou komunikačně propojeny na dopravní ústřednu GG, která automaticky mění dopravu v řízeném útvaru podle dopravní situace v tunelu, zároveň probíhá řízení na vjezdech do tunelu dle „Integrace 2. úrovně“. Ústředna reaguje nejenom na události typu „požár“ a nehoda, ale i na kongesce v tunelu přerozdělováním priorit a změnou parametrů řízené sítě.

V případě tunelů kategorií TA se požaduje integrace 3. úrovně, pro tunely kategorie TB se připouští integrace 2. úrovně.

Uspořádání jednotlivých vrstev je znázorněno v obr. 10-3, lit. [16].

10.4 Základní funkce řídicího systému

Tunelový řídicí systém musí být součástí telematického systému na úrovni útvaru. To znamená, že veškeré informace z tunelu jsou k dispozici pro využití v systému řízení města a regionu a naopak tyto informace jsou využívány pro optimální řízení tunelu. Nezbytnou podmínkou pro takto integrovaný systém je zpracování funkční a informační architektury, např. ve smyslu lit. [12]. Ta již ve stádiu projektu definuje veškeré funkce a propojuje informační toky mezi nimi.

V této kapitole jsou shrnuty základní funkce čtyř vrstev řídicího systému, které je nutné rozpracovat detailněji do činností, které musí systém vykonávat.

10.4.1 Dispečink řízení dopravy na úrovni útvaru - GG

Tunel je nedílnou součástí systému pozemních komunikací. Proto musí být na úrovni útvaru systém dopravy v tunelech začleněn do dopravního řídicího systému GG. Supervizní systém na úrovni GG může zahrnovat kromě řízení dopravy v tunelech i řízení dopravy světlými signalizačními systémy, navigační systémy na úrovni útvaru, liniové řízení dopravy apod. V dalším jsou uvedeny základní požadavky na zařízení velínu GG ve vztahu k tunelům:

- Počítačový terminál s celkovým i detailním přehledem o dopravě v jednotlivých tunelech - doprava monitorována, řízení výběrem ze scénářů předem připravených pro celý útvar. Nejvyšší priorita řízení.
- Videokonzole s možností ovládání libovolné kamery, která je součástí dopravního systému - prioritu ovládání má úroveň GT.
- Použití standardizovaného komunikačního protokolu, viz kap. 10.5.

10.4.2 Dispečink řízení tunelů GT a GA

Dispečinky řízení dopravy GT a technologie GA jsou zřízeny na úrovni oblastí a řídí a monitorují více tunelů. Pracoviště operátorů dopravy (GT) a pracoviště operátorů technologie (GA) mohou být součástí jednoho velínu. Obvykle jsou oba velíny situovány odděleně, v tomto případě se předpokládá dokonale funkční datové propojení a spojení telefonické. Obě pracoviště musí být vybavena následujícím zařízením:

- Nejméně jedna interface z GT na nadřazenou úroveň GG (dispečink řízení dopravy),
- dispečerské vizualizační pracoviště ve formě počítačového terminálu,
- výběr řízení:
 - dálkově manuálně,
 - dálkově automaticky,
- technologickou vizualizační aplikaci je nutné vybavit přehledovou obrazovkou technologie, ze které budou na první pohled zřetelné základní parametry hlavních technologických zařízení včetně jejich poruch,
- dopravní vizualizační aplikaci je nutné vybavit přehledovou obrazovkou dopravy, ze které budou na první pohled zřetelné základní parametry hlavních dopravních zařízení včetně jejich poruch,

- komunikační spojení s hlavní řídicí stanicí CT je redundantní,
- veškerá data ze systému jsou ukládána nejméně po dobu 14 dnů,
- údaje o provozních zásazích a poruchová hlášení jsou ukládány nejméně po dobu 1 měsíce,
- součástí dispečinku dopravy GT je přímé hlasové propojení s hláskami nouzového volání,
- na úrovni GA a GT se obecně preferuje ovládání a signalizace veškerých dopravních a technologických zařízení prostřednictvím vizualizačního systému, z důvodu jednoduššího řízení a přehlednosti se nedoporučuje používání podpůrných dispečerských klávesnic a konzolí (systémy videodohledu, hlásek nouzového volání apod.),
- systém umožňuje ovládat videokamery počítačově nebo videokonzolou, (preferované je počítačové ovládání). V případě situačně oddělených pracovišť GT a GA má prioritu ovládání pracoviště GT, priorita může být řešena i organizačním opatřením,
- doporučuje se vybavení dispečinků GA a GT přehledovým tablem nebo velkoplošnými zobrazovacími panely.

10.4.3 Hlavní řídicí stanice v tunelu - CT

Stanice CT je situována v lokálním velínu tunelu a umožňuje:

- náhradní řízení tunelu z lokálního velínu,
- lokální velín musí být vybaven alespoň jedním plnohodnotným operátorským pracovištěm dopravy i technologie, tak aby v případě výpadku komunikace s nadřazenou úrovní bylo možné operativně převzít řízení z lokálního velínu,
- u tunelů kategorie TA, TB jsou stanice CT redundantní a pracují v „horké záloze“,
- aktivaci připravených scénářů na povel z nadřazené úrovně a potvrzení o jejich vykonání,
- reakce stanice CT v případě mimořádné situace (požár, koncentrace plynů, opacita, vznik náledí) je automatická a musí nastat i případě výpadku komunikace řídicí stanice CT s nadřazenými řídicími úrovněmi,
- reakce stanice CT z hlediska vazeb na řízení bezpečnostního vybavení je popsána v ČSN 73 7503 v kap. „Řízení bezpečnostního vybavení“,
- uchování posledního scénáře řízení při poruše systému,
- ukládání veškerých dat ze systému nejméně po dobu 14 dnů,
- ukládání provozních zásahů a poruchových hlášení nejméně po dobu 1 měsíce,

- programování modulárním způsobem,
- parametrizaci proměnných z nadřazeného systému,
- hlášení poruchy komponent, řídicího systému nebo komunikace,
- součástí velínu je technologická klávesnice, umožňující bezpečné odstavení vybraných provozních celků,
- redundantní komunikační vazbu na oblastní velíny řízení tunelů GT/GA,
- volně programovatelné komunikační vazby na dopravní velín oblasti, resp. na další subsystemy,
- vyžaduje se redundantní spojení s ústřednou EPS (paralelní a sériové),
- videoústředna je integrována do systému na úrovni CT sériovou komunikací,

Náhradní řízení tunelu: z lokálního velínu se uplatní např. v případě poruchy spojení na nadřazenou úroveň GT/GA nebo při řešení mimořádných či havarijních situací v daném tunelu. Hlavní napájecí soustava pracuje. Doba řízení není omezena. K tomu je lokální velín vybaven technikou zabezpečující řízení:

- počítačovým terminálem umožňujícím plnohodnotné řízení dopravy i technologie tunelu napájeným z UPS,
- videokonzolí a redukováným počtem monitorů,
- možností hlasové komunikace s hláskami nouzového volání,
- ústřednami EPS a EZS.

Nouzové řízení tunelu: se uplatní v případě výpadku hlavního i záložního zdroje napájení elektrickou energií při napájení ze zdrojů nepřerušované dodávky elektrické energie. Řízením se rozumí dálkové automatické nebo manuální ovládání funkčně důležitých zařízení. Nutné je např. zastavit a uvolnit dopravu do tunelu, spínat a vypínat ventilaci (nepožaduje se plynulá regulace), spínat a vypínat osvětlení a energetické skupiny apod.

10.4.4 Programovatelné automaty a jednotky vzdálených vstupů a výstupů v tunelu - CS

Programovatelné automaty a jednotky vzdálených vstupů/výstupů jsou umístěny v technologických prostorách v tunelu a umožňují:

- nejméně u tunelů kategorie TA, TB redundantní interface na nadřazenou úroveň CT,
- programovatelný automat musí být nasazen v místech, kde je nutné zachování lokálních zpětných vazeb v případě výpadku komunikace s hlavní řídicí stanicí CT, v ostatních případech mohou být nasazeny

jednotky vzdálených vstupů a výstupů bez lokální inteligence připojené k hlavní řídicí jednotce CT nebo lokálně nadřazenému automatu CS,

- výběr řízení:
 - dálkově,
 - místně automaticky,
 - místně ručně,
- aktivaci připravených scénářů na povel z nadřazené úrovně a potvrzení o jejich vykonání,
- uchování posledního scénáře řízení při poruše systému,
- programování modulárním způsobem,
- parametrizaci proměnných z nadřazeného systému,
- hlášení poruchy komponent, řídicího systému a komunikace.

10.5 Komunikační síť

Architektura komunikačních sítí je zásadně založena na otevřeném systému O.S.I. (Open System Interconnection), tvořeném sedmi vrstvami a definovaném v I.S.O. (International Standard Organisation), lit. [13]. Je nepřipustné používat nestandardní komunikační protokoly.

Pro komunikační prostředí GG-GT-CT a GA-CT se doporučuje:

- v síťové a transportní vrstvě ISO použití protokolu TCP/IP,
- v linkové vrstvě ISO v sítích LAN vlastních dispečinků se preferuje použití standardu ETHERNET, na úrovni WAN (propojení GG-GT(A)-CT) pak použití standardů ATM, X25 apod.,
- komunikační síť musí být segmentovaná a směrovaná tak, aby se zabránilo nežádoucímu přetěžování nesouvisejících částí komunikační sítě,
- na úrovni GT-GA-GG se požaduje v prostředí TCP/IP využití aplikačního protokolu XML pro možnost poskytování informací jiným dopravně-telematickým zařízením.

Spojení mezi stanicemi CT-CS lze realizovat následujícím způsobem:

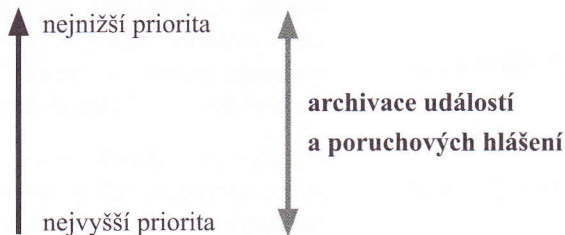
- hvězdicové propojení,
- propojení typu Bus,
- u tunelů kategorie TA, TB se požaduje redundantní vedení,
- preferuje se použití standardizovaných sériových protokolů, například typu PROFIBUS / FIELDBUS.

Zásadně se preferuje přenos optickým vláknem. Přenášené povely jsou kontrolovány vícenásobným přenosem.

10.6 Hierarchie řízení

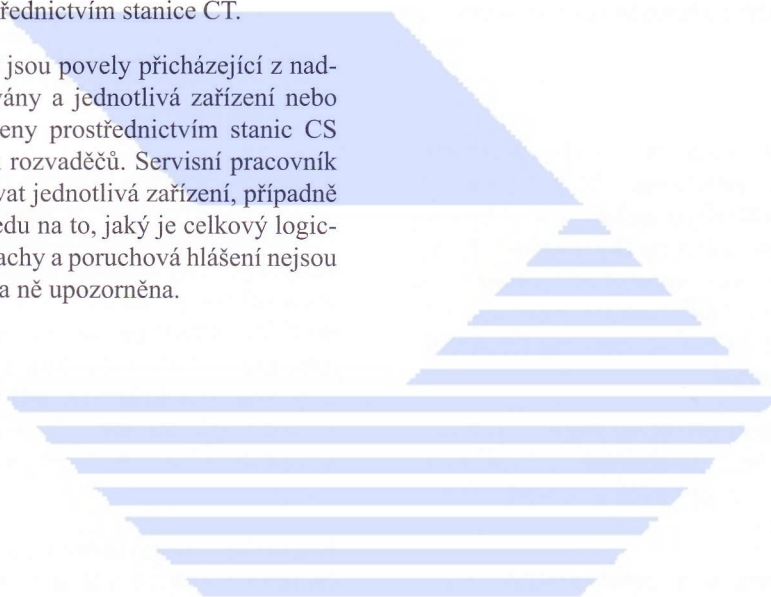
Hierarchie priorit řízení vychází z architektury systému uvedené výše. Obecně platí, že priorita řízení je vyšší pro manuální ovládání než pro automatické, a že se zvyšuje směrem k řízení technologií. Rozeznávají se následující možnosti:

- Řízení „Dálkové“
 - „automatické“
 - „manuální“
- Řízení „Lokální“
 - „automatické“
 - „manuální“
- Řízení „Servis“



Řízení „Dálkové“ znamená řízení tunelu z úrovně útvaru nebo oblasti. Řízení „Lokální“ znamená řízení tunelu z lokálního velínu prostřednictvím stanice CT.

Při řízení typu „Servis“ jsou povely přicházející z nadřazených vrstev blokovány a jednotlivá zařízení nebo jejich skupiny jsou řízeny prostřednictvím stanic CS nebo přímo ze silových rozvaděčů. Servisní pracovník může detailně kontrolovat jednotlivá zařízení, případně části programu bez ohledu na to, jaký je celkový logický postup operací. Poplachy a poruchová hlášení nejsou evidovány, obsluha je na ně upozorněna.



XI. Zásobování elektrickou energií

11.1 Všeobecně

11.1.1 Terminologie

Terminologie vychází z ČSN 34 1610:

Normální napájení elektrickou energií: Zdroj z distribuční sítě (uzel 110 kV).

Náhradní napájení elektrickou energií:

- a) Druhý nezávislý zdroj z distribuční sítě (jiný uzel 110 kV).
- b) Nezávislý záložní zdroj napájení, (zpravidla dieselelgregát atd.).

Zdroj nepřerušované dodávky elektrické energie: Například statický střídač s akumulátorovými bateriemi.

11.1.2 Úvod

Zásobování komplexu silničního tunelu elektrickou energií musí zajistit bezporuchový a bezpečný provoz. Systém zásobování elektrickou energií musí zahrnovat i dodávku energie pro nadzemní doprovodné objekty tunelu. Zdrojem elektrické energie je veřejná rozvodná síť, případně vlastní nezávislý záložní zdroj napájení elektrickou energií, či zdroj (zdroje) nepřerušované dodávky elektrické energie.

Kapacita záložního zdroje při náhradním napájení musí v případě potřeby zajistit zásobování zařízení, která zajišťují bezpečnost provozu tunelu a požární ochranu specifikovaná v kap. 11.3.

Minimální doby provozu nezávislého záložního zdroje jsou dány v kap. 11.4.2.

Systém napájení elektrickou energií musí kryt požadované výkony a svojí přetížitelností i krátkodobé zvýšení spotřeby. Napájení zařízení, zabezpečujících požární ochranu tunelu, musí být zajištěno po dobu stanovenou požárně bezpečnostním řešením tunelu. Ve vlastních tunelových troubách musí elektrická zařízení vyhovovat zvláštním provozním podmínkám (působení vlhkosti, soli, výfukových zplodin, znečištění, tlakové vody, apod.) a zde umístěná elektrická zařízení dále musí odpovídat stupni krytí IP 65.

Pokud je ve smlouvách o odběru elektrické energie požadováno sledování nejvyšší dohodnuté zátěže s následnými finančními sankcemi při jejím překročení (čtvrthodinové maximum), nesmí být odpojovány spotřebiče, ovlivňující bezpečnost účastníků provozu na pozemních komunikacích.

11.1.3 Stanovení vnějších vlivů

Vnější vlivy se stanoví dle ČSN 33 2000-3. Komise složená z hlavního inženýra, technologa, projektantů systému elektrického napájení, vzduchotechniky a autorizovaného inženýra požární bezpečnosti staveb vypracuje protokol o určení vnějších vlivů, který je součástí dokladové části dokumentace.

Při stanovení vnějších vlivů v běžných prostorách (strojovny, rozvodny, velíny, pomocné prostory apod.) se postupuje obvyklým způsobem. Při stanovení vnějších vlivů v tunelových troubách a prostorách souvisejících (vzduchové cesty) je třeba brát v úvahu vliv výfukových plynů a nutnost mytí tunelových trub, včetně vzduchových cest.

11.2 Zdroje napájení elektrickou energií

Stanovení způsobu napájení musí být provedeno ve spolupráci s příslušným dodavatelem elektrické energie. Základním požadavkem je zajištění dodávky elektrické energie pro celý komplex silničního tunelu ze dvou nezávislých zdrojů. Za nezávislý zdroj z distribuční sítě se dle ČSN 73 0802 považuje uzel přenosové sítě 400 kV nebo uzel 110 kV, v němž na různých přípojnících jsou připojena vedení různých uzlů 400/110 kV. Výjimečně se může dodávka elektrické energie zajistit připojením na distribuční síť smyčkou nebo připojením na mřížovou síť.

Pokud není možné takové zajištění napájení elektrickou energií z distribuční sítě, je nutno použít jako druhý nezávislý zdroj nezávislý záložní zdroj elektrické energie. Stupeň dodávky pro jednotlivé objekty a provozy areálu se řeší diferencovaně podle jejich důležitosti.

Systém napájení je závislý na velikosti instalovaného příkonu. Zpravidla se používá následující napájecí napětí:

- nízké napětí (napětí do 1 kV mezi vodiči) pro tunely s nízkou výkonovou spotřebou,
- vysoké napětí (napětí do 52 kV mezi vodiči) pro tunely s vysokou spotřebou.

11.3 Kategorizace jednotlivých provozů

Pro napájení elektrických zařízení v komplexu silničního tunelu musí být v zásadě stejná měřítka z hlediska

spolehlivosti zásobování elektrickou energií, jako jsou stanoveny pro zásobování z veřejné elektrické sítě.

11.3.1 Zařízení napájená ve stupni 1

Dodávkou elektrické energie podle stupně 1 musí být zabezpečena zařízení, která zajišťují bezpečnost provozu tunelu a požární ochranu, tj.:

- Řídicí systémy tunelu.
- Dopravní systém, tj. proměnné dopravní značky, zařízení pro provozní informace a řízení dopravy světelnými signály.
- Požárně bezpečnostní zařízení:
 - zařízení pro požární signalizaci (EPS),
 - zařízení pro potlačení požáru nebo následků výbuchu (samočinné hasicí systémy...),
 - zařízení pro usměrňování pohybu kouře při požáru (ventilace, kouřové klapky...),
 - zařízení pro zásobování požární vodou (požární vodovod, požární nádrže...),
 - zařízení pro omezení šíření požáru (požární klapky, požárně odolné dveře...).
- Náhradní osvětlení tunelu a tunelových prostor.
- Nouzové únikové osvětlení tunelu - osvětlení únikových cest, dispečinku a vybraných technologických prostor, značení únikových komunikací.
- Systém videodohledu.
- Detekce škodlivin.
- Hlášky nouzového volání, vč. poplachové signalizace.
- Spojovací a dorozumívací zařízení.
- Případná další zařízení, důležitá pro bezpečnost provozu nebo protipožární ochranu, vyplývající z konkrétního řešení (ochrana proti zaplavení, zabezpečení požárního vodovodu a pod.).

11.3.1 Zařízení napájená ve stupni 2

Zabezpečena dodávkou elektrické energie podle stupně 2 musí být ostatní provozní zařízení.

11.4 Zdroje elektrické energie v tunelu

Vnitřní zdroje napájení elektrickou energií jsou:

- zdroj vysokého napětí do 52 kV,
- nezávislý záložní zdroj napájení elektrickou energií,
- zdroj nepřerušované dodávky elektrické energie,
- rozvodná zařízení.

11.4.1 Zdroj vysokého napětí do 52 kV

Hlavním zdrojem napájení elektrickou energií v komplexu silničního tunelu je transformační stanice, napájená ze dvou na sobě nezávislých napájecích zdrojů z elektrodistribuční sítě, tj. přívodů, u nichž poškození nebo vypnutí jednoho z nich nemá za následek vypnutí druhého přívodu. Vzájemná nezávislost napájecích zdrojů musí být projednána s příslušným rozvodným podnikem.

Transformační stanice musí být řešena ve stupni zabezpečení elektrické energie 1, tj. musí být vybavena minimálně dvěma transformátory, výkon každého z nich musí plně krýt požadovanou dodávku.

11.4.2 Nezávislý záložní zdroj napájení elektrickou energií

Pokud výjimečně nelze zřídit zásobování elektrickou energií ze dvou nezávislých rozveden 110 kV (kap. 11.2), musí být zajištěno náhradní napájení elektrickou energií z agregátů pro výrobu proudu. Toto náhradní napájení musí být zajištěno pro zařízení, která zajišťují bezpečný provoz a protipožární ochranu, tj. zařízení a systémy specifikované v kap. 11.3 ve stupni 1.

Agregáty pro výrobu proudu

Agregáty musí být vybaveny automatickým startem při výpadku sítě. Strojovny agregátů a rozvodny agregátů je vhodné umisťovat v nadzemních prostorách areálu tunelu. Zásoba pohonných hmot pro provoz energosoustrojí, případně kapacita akumulátorových baterií v případě výjimečného využití statické UPS jako záložního zdroje, musí zabezpečit provoz zařízení specifikovaných v kap. 11.3.1 „Zařízení napájená ve stupni 1“ po dobu minimálně 4 hodiny. Po další 2 hodiny musí být zabezpečen provoz zařízení:

- nouzové únikové osvětlení tunelu (4),
- řídicí systémy tunelu (1),
- požárně bezpečnostní zařízení (3),
- systém videodohledu (5),
- spojovací a dorozumívací zařízení (8),
- dopravní systém (2),
- zařízení detekce škodlivin (6),
- hlášky nouzového volání (7),
- technická zařízení, která mají zásadní význam pro zabránění nedovoleného vjezdu do tunelu.

11.4.3 Zdroj nepřerušované dodávky elektrické energie

Zdroj nepřerušované dodávky elektrické energie (UPS) zabezpečuje nepřetržité napájení vybraných elektrických spotřebičů v komplexu silničního tunelu. Jsou to následující zařízení:

1. Řídicí systémy tunelu.
2. Dopravní systém, tj. proměnné dopravní značky, zařízení pro provozní informace a řízení dopravy na vjezdu.
3. Požárně bezpečnostní zařízení – zařízení pro požární signalizaci.
4. Nouzové únikové osvětlení tunelu.
5. Systém videodohledu.
6. Zařízení detekce škodlivin.
7. Hlášky nouzového volání, včetně poplachové signalizace.
8. Spojovací a dorozumívací zařízení.
9. Případná další zařízení důležitá pro bezpečnost provozu nebo požární ochranu vyplývající z konkrétního řešení (ochrana proti zaplavení, napájení požárních čerpadel apod.)⁴⁾.

Zdroje UPS musí při výpadku sítě zajistit přepnutí na záložní zdroj elektrické energie bez přerušování. Výstupy z UPS upozorňující na jeho stav, včetně údajů o stupni vybití, jsou přivedeny do řídicího systému. Údaj o vybití na stanovenou kritickou hranici je poplachovým hlášením.

Pokud nedošlo k přepnutí napájení na druhý nezávislý zdroj z distribuční sítě nebo na nezávislý záložní zdroj, musí být zásobování el. energií dále uvedených systémů a zařízení zajištěno po dobu nejméně 2 hodin:

- (1) Řídicí systémy tunelu, (3) Požárně bezpečnostní zařízení-zařízení pro EPS, (4) Nouzové únikové osvětlení tunelu, (5) Systém videodohledu, (8) Spojovací a dorozumívací zařízení.

Zásobování ostatních, dále uvedených zařízení, je zajištěno po dobu nejméně 30 minut:

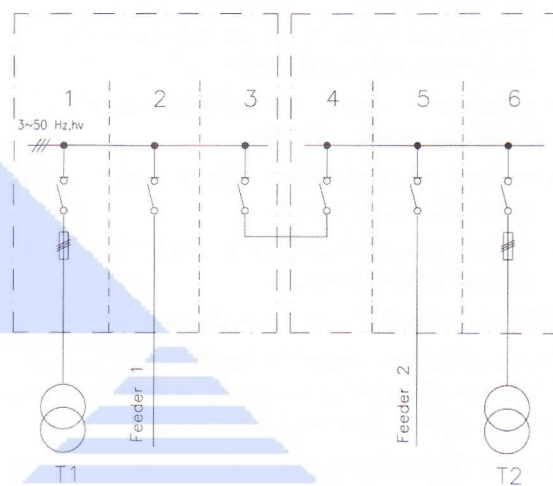
- (2) Dopravní systém, (6) Zařízení detekce škodlivin, (7) Hlášky nouzového volání a (9) případná další zařízení důležitá pro bezpečnost provozu nebo protipožární ochranu, vyplývající z konkrétního řešení (zabezpečení požárního vodovodu atd.).

⁴⁾ Pokud není zajištěn okamžitý přechod z hlavního napájení na náhradní, musí být na zdroj nepřerušované dodávky elektrické energie připojeny také soustavy nouzového osvětlení tunelu (zvláště náhradní osvětlení tunelové trouby). Kapacita zařízení nepřerušované dodávky musí být navýšena tak, aby byla schopna napájet náhradní osvětlení tunelové trouby po dobu přechodu na náhradní napájení elektrickou energií.

11.5 Rozvodná zařízení

11.5.1 Rozvodná zařízení vysokého napětí do 52 kV

Rozvodny v tunelu je nutno umístit pokud možno v bodech největšího energetického zatížení. Pro spínací, rozpínací a transformační stanice je nutno používat typově odzkoušená, bezpečná zařízení. Spolehlivost zásobování, v případech poruchy, může být ještě zvýšena, když jsou sběrnice (VN i NN) rozděleny na úseky, které jsou umístěny ve dvou stavebně oddělených požárních úsecích a vzájemně propojeny pomocí dálkové řízených spínačů, obr. 11-1.

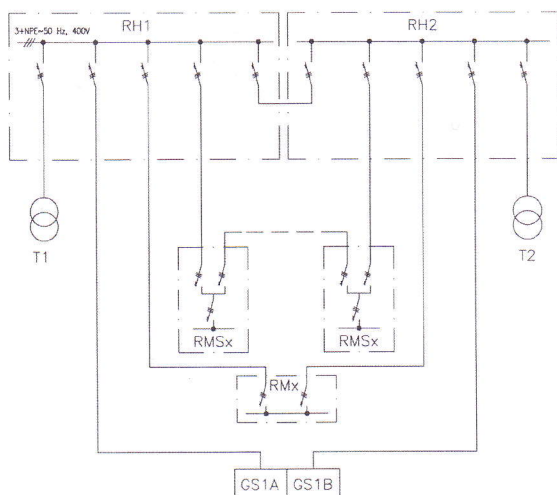


Obr. 11-1: Typové schéma rozvodného zařízení vysokého napětí do 52 kV

Výkonová bilance, s přihlédnutím k faktoru současného využívání spotřebičů, tvoří základ pro výpočet parametrů transformátoru.

11.5.2 Rozvodná zařízení nízkého napětí

Pro trojfázovou síť se přednostně užívá střídavého napětí 230/400 V. Rozvodny mají být zásadně koncipovány tak, že částečné odpojení některých zařízení (např. rozvodných polí a sběrnic) umožní alespoň omezený provoz rozvodné soustavy. Hlavní rozvodna NN by pro zvýšení spolehlivosti měla být řešena stejně jako rozvodna VN (podélně dělené sběrnice, umístění ve dvou požárních úsecích), obr. 11-2. Důležitá provozní zařízení musí být napájena ze zdrojů náhradního napájení elektrickou energií (viz výše) nebo musí být na tato zařízení připojitelná. Podle místních poměrů (délka kabelové trasy, hodnota spotřebovaného výkonu) musí být řešeno, zda lze elektrické spotřebiče napojit bezprostředně na hlavní rozvaděč (jednoduché poměry) nebo prostřednictvím podružných rozvaděčů.



- RH hlavní rozvaděč nn
 RMS podružný rozvaděč napojený smyčkou (rozvaděče méně zatížené)
 RM podružný rozvaděč napojený dvěma přívody (rozvaděče více zatížené nebo vzdálené od napájecích tras ostatních rozvaděčů)
 GS1 zdroj nerušené dodávky el. energie (UPS)

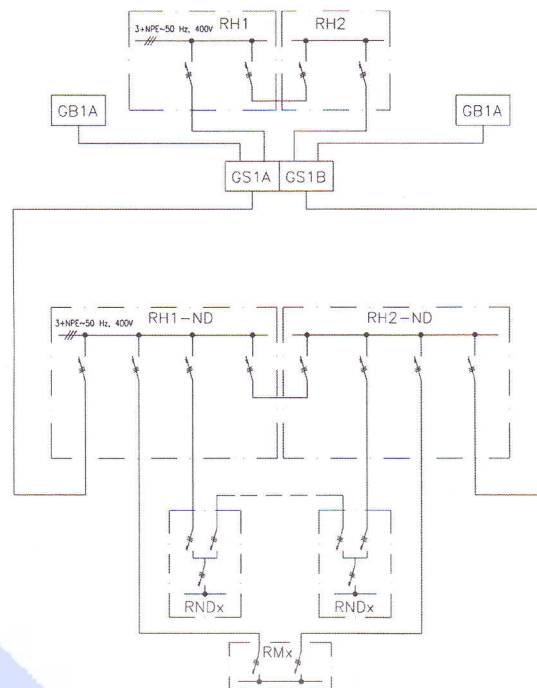
Obr. 11-2: Typové schéma rozvodného zařízení nízkého napětí

Podružné rozvaděče je vhodné navrhovat co nejbližší k řízené technologii (např. do/vedle prostoru strojovny vzduchotechniky). Podružné rozvaděče je nutné navrhovat se dvěma přívody napájenými z různých sekcí hlavního rozvaděče NN. Nízkonapěťové rozvaděče musí být vyrobeny dle platných norem. Doporučuje se používat soustavy s ochranou proti nebezpečnému dotykovému napětí samočinným odpojením od zdroje (proudovými chrániči). Počet zapojovacích polí se řídí podle provozních požadavků, přičemž je nutno počítat s možným rozšířením nebo změnami provozně technického vybavení.

Měření napětí, proudů a výkonů se obvykle realizuje v hlavním rozvaděči. Měření nebo indikace přítomnosti napětí je vyžadována pro napájení bezpečnostních a dopravních zařízení tunelu. Tyto informace jsou součástí integrovaného řídicího systému. U spotřebičů s vysokým příkonem má být pro každý proudový okruh samostatné měření příkonů.

11.5.3 Rozvodná zařízení nepřerušované dodávky elektrické energie

Pro tento druh rozvodných zařízení, jejichž principiální schéma je na obr. 11-3, platí stejné zásady jako v kap. 11.5.2.



- GS1 zdroj nerušené dodávky el. energie (UPS)
 GB1 akumulátorová baterie pro napájení UPS při výpadku sítě
 RH-ND hlavní rozvaděč nerušené dodávky
 RND podružný rozvaděč nerušené dodávky napojený smyčkou (rozvaděče méně zatížené)
 RM podružný rozvaděč nerušené dodávky napojený dvěma přívody (rozvaděče více zatížené nebo vzdálené od napájecích tras ostatních rozvaděčů)

Obr. 11-3: Typové schéma rozvodného zařízení nerušené dodávky elektrické energie

11.6 Kompenzace jalového výkonu

Jalové výkony jsou nežádoucí v elektrických zařízeních a musí být kompenzovány. Tím se zlepšuje výkonový faktor a elektrická zařízení mohou být dimenzována na skutečný činný potřebný příkon.

Jsou používány následující způsoby:

Individuální kompenzace: v tomto případě je kompenzován jalový výkon přímo u spotřebiče. Obecně je tento způsob používán u krátkých a středních tunelů, které nemají ventilační zařízení.

Ústřední kompenzace: u tohoto způsobu je jalový výkon kompenzován centrálně v hlavní rozvodně a kompenzace je řízena automaticky podle spotřebičů, které se nacházejí v provozu; tento způsob je hospodárné užívat obecně v delších tunelech

Způsob kompenzace a hodnotu účinníku, na kterou bude kompenzace navržena, je nutno předem projednat s dodavatelem elektrické energie.

11.7 Rozvody silnoprůdu

Volba kabelů a elektrických zařízení, která mají být použita, je ovlivněna elektrickými, mechanickými, tepelnými a chemickými nároky, kterým jsou kabely a výkonová zařízení v provozu vystaveny.

Pro realizaci kabelových tras v tunelu se využívají řešení:

- Kryté trasy (kabelové trasy v nouzových chodnících, chráničky ve vnějších nebo střední stěně, technické chodby).
- Kabelové trasy pod stropem tunelu.
- Volné přívody k jednotlivým zařízením v tunelu.

Kabely v tunelu a podzemních objektech:

(a) Veškeré silové kabely musí být bezhalogenové se zvýšenou odolností proti šíření plamene podle ČSN EN 50 266.

(b) Kabely v provedení podle CEI IEC 60 331-11, CEI IEC 60 331-21, CEI IEC 60 331-23, CEI IEC 60 331-25 s funkční schopností při požáru musí být navrženy:

- v hlavních napájecích trasách, (napájení hlavních a podružných rozvaděčů),
- k napájení a ovládání zařízení v tunelové troubě, sloužících pro odvod kouře a tepla (ZOKT).

(Požadavek ad (b) nemusí splňovat kabely, vedené ve dvou nezávislých požárně oddělených trasách.)

Kabely v nadzemních objektech areálu tunelu:

Kabely se navrhují v souladu s protokolem o určení vnějších vlivů dle ČSN 33 2000-3.

Elektrická zařízení musí být vždy propojena vodičem vzájemného pospojování, připojeným na uzemnění tunelu. Zemní vodič musí být vybaven izolací.

Při návrhu elektrické instalace v komplexu silničního tunelu nutno brát zvláště v úvahu, že průchody kabelů a vedení mají být utěsněny v ohnivzdorných prostupech ve stropu a stěnách (požárně dělící konstrukce), aby se zamezilo rozšíření požáru mezi požárními úseky. Toto platí zvláště pro vedení potrubí a kabelů do prostoru, kde je umístěn nízkonapěťový hlavní rozvaděč.

11.8 Ochrana před bludnými proudy

Stejnoseměrné bludné proudy mají nežádoucí účinek na konstrukční díly v tunelu. Proto je nutné již ve stádiu přípravy projektové dokumentace zpracovat měření, na základě kterého jsou stanoveny zásady pro projektování. Přitom se vychází z ČSN 03 8350 „Požadavky na protikorozi ochranu úložných zařízení“, ČSN 03 870 „Snížení korozičního účinku bludných proudů na úložná zařízení“ a TP 124 Ministerstva dopravy a spojů „Základní ochranná opatření pro omezení vlivu blud-

ných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací“, která stanoví podmínky pro způsob provedení výztuže a měřících vývodů.

Rozsah základních ochranných opatření proti působení bludných proudů na železobetonové konstrukce se určí se zřetelem k výše uvedeným předpisům a podle odborného expertního posouzení výsledků korozičního průzkumu se zřetelem na druh posuzovaného objektu a typ konstrukce, charakteristiku zdroje bludných proudů, členění napájecích úseků apod. Výchozím podkladem je elektrický a geofyzikální průzkum, zdánlivý měrný odpor půdy, měření přítomnosti bludných proudů v zemi, vyhodnocení inženýrsko geologického průzkumu a další šetření podle daných podmínek.

Za účelem omezení vlivu stejnosměrných bludných proudů je třeba postupovat odlišně podle toho, jedná-li se o projektovaný objekt nebo o opravu a přestavbu konstrukce tunelu.

Ochranná opatření se budou dále lišit podle prostorového uspořádání tunelu ve vztahu ke zdrojům bludných proudů, což mohou být trakce železnice (cca 3 kV), tramvaje (cca 600 V), metra (cca 750 V), důlní dráhy (cca 1,5 kV). Podle stupně ohrožení jde o tyto případy:

- tunel je veden rovnoběžně v určité vzdálenosti elektrizované kolejové dopravy: 1. stupeň,
- tunel kříží elektrizovanou trať: 2 stupeň,
- v tunelu je vedena kolejová doprava elektrizovaná stejnosměrným systémem: 3. stupeň (nejhorší).

K základním opatřením na snížení účinku bludných proudů patří:

1. Rozdělení konstrukce do menších částí navzájem od sebe elektricky izolovaných, což bývá automaticky splněno, pokud mezi dilatačními spárami jednotlivých úseků je aplikována elektrická izolace. Šířka dilatační spáry by měla být v rozmezí 1–5 cm. Pokud přesahy sítí a výztuže podélně i příčně jsou prováděny standardním způsobem (tj. nejsou spojovány svařováním výztuže), je automaticky zajištěn dostatečně velký odpor tunelu tak aby bludné proudy do tohoto objektu prakticky nevstupovaly.
2. Při použití monolitních prvků, resp. svařované výztuže je třeba navrhnout přerušení elektrické celistvosti výztuže a určit max. přípustnou délku úseků, která by neměla přesahovat 200 m. V těchto případech je třeba na konci úseků zřídit měřící vývody. Instalují se na konstrukcích a výztuži železobetonových konstrukcí tunelu.
3. V případě dvouvrstvého ostění s mezilehlým izolačním pásem se dělí na jednotlivé izolačně oddělené části pouze vnitřní trvalé ostění; vnější primární ostění se na izolované úseky nerozděluje.

4. Pokud tunelové těleso nepředstavuje spojitou elektrickou cestu (kterou protékají bludné proudy), není třeba kovové části technologických zařízení přístrojové a kabelové nosné konstrukce připevňovat k železobetonovým konstrukcím izolačně.
5. Uzemnění do jednotlivých izolačně oddělených částí se rozvede izolovanými zemnicími lany připojenými na hlavní uzemňovací sběrnici.
6. Ocelová potrubí na vstupu a na výstupu z tunelu opatřit izolačními spojkami, podobně i v případě kovových plášťů kabelů nebo připojit tyto pláště na uzemnění tunelu přes průrazky s opakovatelnou funkcí.

Uzemnění tunelu musí být ve vzdálenosti min. 20 m od cizích uzemňovacích soustav. Místa rozhraní jsou označena tabulkou s nápisem „Pozor IOČ Nepropojovat“ (velikost A4, barva oranžová; IOČ – Izolačně Oddělená Část).

Pokud elektrická, geofyzikální a další diagnostická měření prokážou nedostatečnou účinnost pasivní ochrany je nutno přistoupit k použití ochrany aktivní. Návrh aktivní ochrany vypracovává výhradně specializované pracoviště jako samostatnou dokumentaci na základě výsledků a doporučení měření.

11.9 Ochrana před nebezpečným dotykovým napětím

Ochrana před úrazem elektrickým proudem musí být provedena dle ČSN 33 2000-4-41:

- základní: samočinným odpojením od zdroje,
- zvýšená: samočinným odpojením od zdroje a doplňujícím pospojováním (v tunelech a instalačních kanálech),

11.10 Uzemnění

Vzhledem k ochraně proti bludným proudům je třeba rozvést uzemnění do jednotlivých izolačně oddělených částí (IOČ) tunelu izolovanými zemnicími lany. Vnější uzemňovací síť se přivede izolovanými lany na hlavní uzemňovací sběrnici umístěnou v rozvodně NN. V jednotlivých IOČ tunelu se zřídí podružné uzemňovací sběrnice propojené s hlavní sběrnicí zemnicími lany (2 přívozy vedené různými trasami). Na tyto sběrnice se připojí veškeré kovové konstrukce a kryty v příslušné IOČ .

Uzemňovací síť je společná pro silnoproudá i slaboproudá zařízení nebo je spojena na jedné společné uzemňovací sběrnici. Hodnota zemního odporu nemá být větší než 1 Ω.

Závěr

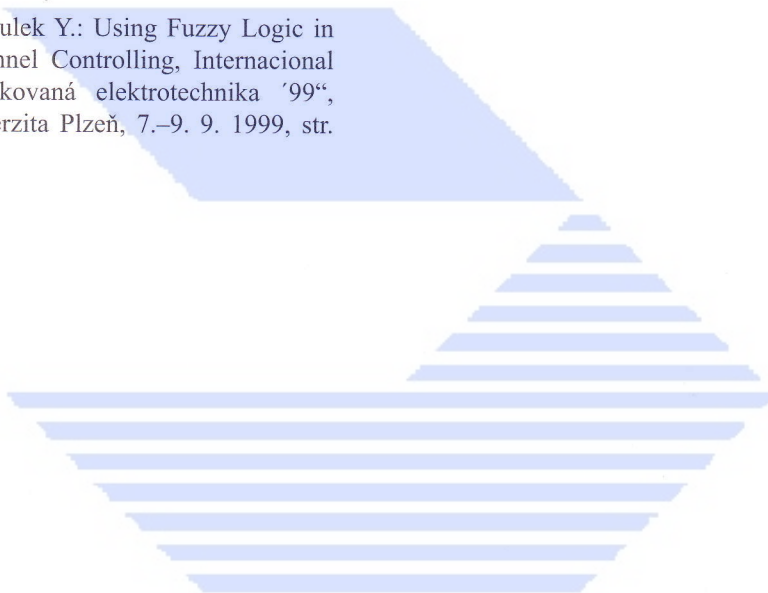
Účelem zpracování nového vydání těchto technických podmínek je pomoci standardizaci v technologickém vybavení tunelů v České republice a přispět tak k tomu, aby tunely v České republice byly vybavovány na evropské úrovni na straně jedné, přičemž musí být brána na zřetel snaha, aby byly optimalizovány náklady na jejich vybavení, na straně druhé. Na jejich přípravě, která probíhala v rámci Tunelové sekce Silniční společnosti ČR a v rámci Výboru pro bezpečnost v podzemních stavbách, se podílela řada předních českých odborníků.

Autor technických podmínek děkuje touto formou za revizi kapitoly „Osvětlení tunelu“ ing. J. Kotkovi z ELTODO EG, a.s., kapitoly „Větrání tunelu“ ing. M. Novákovi z Metroprojektu a.s., ing. P. Bednářovi ze společnosti SATRA s.r.o. za úpravy kapitoly „Zásobování elektrickou energií“ a ing. J. Řehákovi z ELTODO Dopravní systémy - A Siemens company, za aktualizaci kapitoly „Řídicí systém tunelu“.

Použitá literatura

- [1] Příbyl P.: „Metody identifikace nehody v tunelu“, Tunelmi k trietiemu tisícročiu, Prievidza 1996, Slovenská silniční spoločnosť
- [2] Směrnice CIE 88/1990 „Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses“
- [3] Kotek J.: „Zásady pro osvětlování tunelů a podjezdů“, 1992
- [4] RABT „Richtlinien fuer die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln“, Forschungsgesellschaft fuer Strassen und Verkehrsvesen, Bundesministerium fuer Verkehr, Ausgabe 2002
- [5] „Road Tunnels“, XXth Road Congress Montreal, 3-9. September 1995
- [6] Didier Lacroix: „Odvětrání kouře ze silničních tunelů v případě požáru“, překlad
- [7] XIX. kongres PIARC Marakeš, 1991
- [8] Hygienické předpisy, svazek 66/1990, Ministerstvo zdravotnictví a sociálních věcí České republiky, Avicenum
- [9] TP154 „Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací“, Eltodo EG, Praha, 2002
- [10] TP141 „Proměnné dopravní značení“, CityPlan, Praha, 2000
- [11] Švýcarská směrnice „Lüftung der Strassentunnel“, Bereich Tunnel und Elektromechnik, Bundesamt für Strassen, Ausgabe 2001, ver. 6.1, August 2001

- [12] Příbyl P.: „Architektura městského telematického systému – Hl. m. Praha“, Eltodo, červenec, 2002, str. 470
- [13] Kállay F., Peniak P.: „Počítačové siete a ich aplikácie“, Edia, Žilina, ISBN 80-7100-380-8, 284 str.
- [14] RABT „Richtlinien fuer die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln“, Forschungsgesellschaft fuer Strassen und Verkehrsvesen, Bundesministerium fuer Verkehr, Ausgabe 1994
- [15] Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network, Brussels, 29 April 2004
- [16] IM MAGGIA SA, „N16, Version Verte du Controle-Commande de la 1. etape“, September 1992, IM E107“85-021, str. 16
- [17] Molnárová M., Spulek Y.: Using Fuzzy Logic in Superhighway Tunnel Controlling, Internacional Conference „Aplikovaná elektrotechnika '99“, západočeská univerzita Plzeň, 7.–9. 9. 1999, str. 113–116



Příloha A – Metodika návrhu osvětlení tunelu ve dne

Tato příloha navazuje na kap. 4 „Osvětlení tunelu“

A 1 Terminologie a značení

A 1.1 Jas v jednotlivých pásmech

A 1.1.1 Jas příjezdového pásma L_{20}

Jas příjezdového pásma se hodnotí ve dvacetistupňovém zorném poli z pohledu příjezdového řidiče. Osa tohoto kuželu směřuje přibližně do 1/4 výšky vjezdového otvoru tunelu. Tento jas se označuje symbolem L_{20} .

A 1.1.2 Jas prahového pásma L_{th}

Průměrný jas povrchu vozovky v určitém místě prahového pásma se nazývá jas prahového pásma v tomto místě. Označuje se symbolem L_{th} . Jas L_{th} je přímo úměrný velikosti jasu L_{20} .

A 1.1.3 Poměr jasů prahového a příjezdového pásma $L_{th}/L_{20} = k$

Poměr průměrného jasu povrchu vozovky L_{th} na začátku prahového pásma k jasům příjezdového pásma L_{20} , měřeného ze vzdálenosti rovné celkové brzdné dráze před vjezdem do tunelu, se označuje symbolem k .

A 1.1.4 Jas přechodového pásma L_{tr}

Průměrný jas povrchu vozovky v určitém místě přechodového pásma se nazývá jas přechodového pásma v tomto místě. Označuje se symbolem L_{tr} .

A 1.1.5 Jas vnitřního pásma L_{in}

Průměrný jas povrchu vozovky ve vnitřním pásmu se nazývá jasem vnitřního pásma a označuje se symbolem L_{in} .

A 1.2 Brzdná dráha a rychlost

A 1.2.1 Návrhová rychlost

Návrhová rychlost je navrhovaná nejvyšší rychlost vozidla, při níž má osvětlení tunelu splňovat cíle popsané v kap. 4.3.

A 1.2.2 Celková brzdná dráha

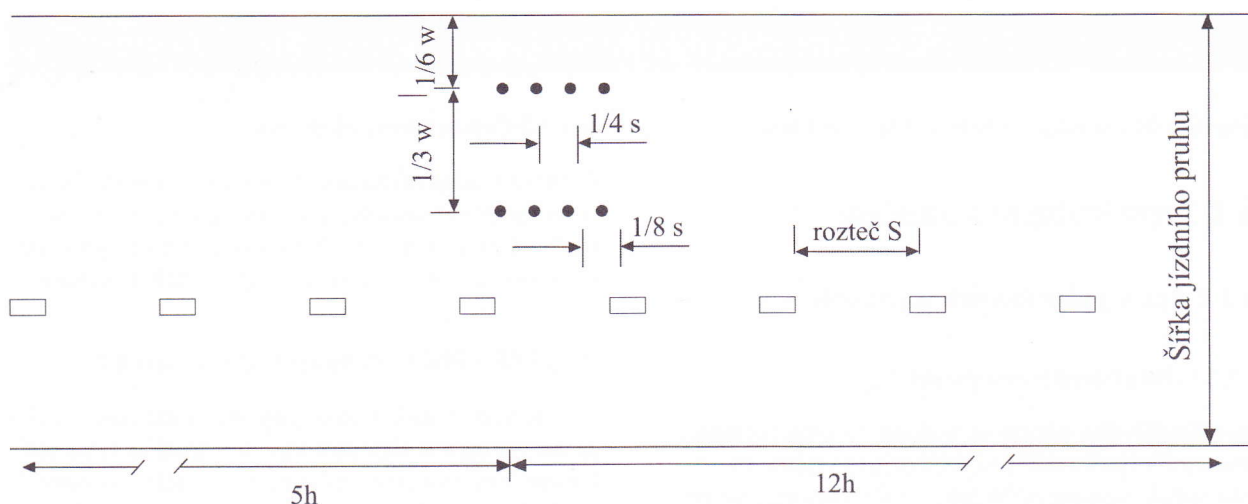
Celková brzdná dráha je vzdálenost potřebná k bezpečnému zastavení vozidla, jedoucího návrhovou rychlostí. Celková brzdná dráha zahrnuje vzdálenost ujetou během reakční doby a vzdálenost ujetou během brždění.

A 1.3 Osvětlovací soustava a kontrast

Čím je větší kontrast mezi jasy předmětu nalézajícího se na vozovce a této vozovky, tím lepší je jeho viditelnost. Kontrast jasů závisí na odrazných vlastnostech předmětu, povrchu vozovky a povrchu stěn tunelu a na druhu použité osvětlovací soustavy.

Osvětlovací soustava zajišťující vysoké jasy L na povrchu vozovky a nízké vertikální intenzity osvětlení E_v (tj. vysoké hodnoty poměru L/E_v) zajišťuje u většiny předmětů poměrně vysoké hodnoty kontrastu. Takové osvětlení obdržíme pouze tehdy, když se jedná o osvětlení asymetrické vzhledem k podélné ose tunelu, směřované proti řidičům. Takové osvětlení se nazývá protisměrné (CBL-Counter Beam Lighting).

Stupeň asymetrie je v této souvislosti definován jako minimální hodnota poměru L/E_v , obdržená v pravidelné síti kontrolních míst. Vertikální intenzity osvětlení se hodnotí ve výšce 0,1 m nad úrovní vozovky ve směru proti příjezdovým řidičům. Pravidelná síť je definována dvanácti kontrolními místy v jednom jízdním pruhu v uspořádání se třemi kontrolními místy napříč a čtyřmi v podélném směru mezi dvěma přilehlými svítidly obr. A 1-1. Při výpočtu vertikální intenzity osvětlení je důležité započítat přímou i nepřímou složku.



Obr. A 1-1: Síť kontrolních míst a svítidla, která jsou brána v úvahu při stanovení L/E_v tunelového osvětlovacího systému (W = šířka dopravního pruhu, S = vzdálenost svítidel, h = výška umístění svítidel).

Na základě poměru L/E_v se rozlišují dvě kategorie osvětlení, jak vyplývá z tab. A 1-1.

Kategorie osvětlení podle L/E_v

Osvětlení	Poměr L/E_v
symetrické	$\leq 0,2$
Protisměrné (CBL)	$\geq 0,6$

Tab. A 1-1: Kategorie osvětlení podle L/E_v

Poznámka:

- 1) Jen málokdy existují případy, kde poměr L/E_v nabývá hodnot mezi 0,2 a 0,6. Takové osvětlovací soustavy by měly splňovat doporučení platná pro symetrické osvětlení.
- 2) Fotometrické hodnoty L a E_v zahrnují pouze vliv umělého osvětlení.

A 2 Dopravní podmínky

A 2.1 Nároky na zrak řidiče

Stupeň obtížnosti řešení dopravních nároků řidičů motorových vozidel všeobecně závisí na rychlosti, intenzitě a skladbě dopravního proudu, na geometrickém uspořádání komunikace a bezprostředním okolí.

Hodnoty doporučované těmito technickými podmínkami je nutno považovat za hodnoty minimální při normálních dopravních podmínkách. Při vyšší hustotě dopravy na pozemních komunikacích, při delší brzdě dráze nebo všeobecně při zhoršených dopravních podmínkách, mají být uvažovány vyšší hodnoty.

A 2.2 Rychlost a viditelnost

Čím vyšší je návrhová rychlost, tím delší je brzdná dráha vozidel. Pro řidiče blížícího se k tunelu to znamená, že čím rychleji pojede, tím větší bude vzdálenost před vjezdem, odkud musí vidět do tunelu. Při větších vzdálenostech bude jas příjezdového pásma L_{20} obvykle vyšší. Při větších vzdálenostech má také předmět uvnitř tunelu menší úhlovou velikost a je tedy hůře viditelný. Navíc při větší vzdálenosti řidiče od tunelu (větší vrstvě vzduchu) hrozí větší nebezpečí snížení viditelnosti vlivem rozptýleného atmosférického světla. Poměr jasu v prahovém a příjezdovém pásmu L_{th}/L_{20} musí být větší při vyšší návrhové rychlosti nebo při delší brzdě dráze.

A 3 Osvětlení za dne

A 3.1 Jas příjezdového pásma L_{20}

Určování hodnot jasu potřebných na začátku prahového pásma jsou založeny na velikosti jasu L_{20} určené ze vzdálenosti rovné celkové brzdě dráze před vjezdem do tunelu. Při shodných podmínkách denního osvětlení bývají u tunelů s různými podmínkami na příjezdy a okolím hodnoty jasu L_{20} značně rozdílné. Pro účely návrhu osvětlení je potřeba určit nejvyšší hodnotu jasu L_{20} , která se s dostatečnou četností vyskytuje v průběhu roku. Tato hodnota závisí na sezónních podmínkách a na počasí. Pro praktické použití slouží dvě následující metody stanovení jasu L_{20} .

A 3.1.1 První metoda

Hodnota jasu L_{20} se určí podle tab. A 3-1 při respektování vysvětlivek uvedených v poznámce pod tabulkou.

Hodnoty L_{20}

Poznámka:

1) Záleží především na orientaci tunelu

- nižší hodnota se volí pro jižní vjezd (od jihu)
- vyšší hodnota se volí pro severní vjezd (od severu)
- pro východní nebo západní vjezd se volí střední hodnota z uvedených hodnot.

2) Záleží především na jasu okolí

- nižší hodnota se volí při nízké odrazivosti okolí
- vyšší hodnota se volí při vysoké odrazivosti okolí.

3) Záleží především na orientaci tunelu

- nižší hodnota se volí pro severní vjezd (od severu)
- vyšší hodnota se volí pro jižní vjezd (od jihu)
- pro východní a západní vjezd se volí střední hodnota z uvedených hodnot.

4) Kombinace celková brzdná dráha 60 m a 35 % oblohy se v praxi nevyskytuje.

A 3.1.2 Druhá metoda

Jas L_{20} se určí ze vzorce:

$$L_{20} = aL_C + bL_R + cL_E$$

kde L_C jas oblohy
 L_R jas vozovky
 L_E jas okolí
 a % oblohy
 b % vozovky
 c % okolí,

přičemž platí, že $a + b + c = 1$.

Není-li možno přesně určit činitele a , b , c , může být jejich velikost stanovena porovnáním s obrázky A 2 až A 9. Není-li možno změřit jasy L_C , L_R a L_E , může být jejich velikost určena podle tab. A 3-2.

A 3.1.3 Užití obou metod

Aby bylo možné použít tab. A 3-1, je na obr. A 2 až A 9 uvedeno osm náčrtů skutečných vjezdů do tunelu. Tyto náčrtů jsou odvozeny z fotografií a je na nich vyznačena hranice 20° kuželového zorného pole, v němž se určuje jas příjezdového pásma. Pod každým náčrtem je uveden podíl oblohy v tomto 20° zorném poli a délka celkové brzdné dráhy před vjezdem do tunelu, odkud byla pořízena původní fotografie.

Hodnoty jasu L_C , L_R a L_E

Poznámka:

Hodnoty označené (V) se volí v případě horské krajiny s převážně strmými povrchy.

Hodnoty označené (H) se volí v případě ploché více méně horizontální krajiny.

Průměrná hodnota L_{20} [cd.m^{-2}]								
	Podíl oblohy ve dvaceti stupňovém zorném poli							
	35 %		25 %		10 %		0 %	
Jas v zorném poli	normál 1)	sníh 1)	normál 1)	sníh 1)	normál 2)	sníh 3)	normál 2)	sníh 3)
Celková brzdná dráha 60 m	4)	4)	4000–5000	4000–5000	2500–3500	3000–3500	1500–3000	1500–4000
Celková brzdná dráha 100 až 160 m	4000–6000	4000–6000	4000–6000	4000–6000	3000–4500	3000–5000	2500–5000	2500–5000

Tab. A 3-1: Hodnoty L_{20}

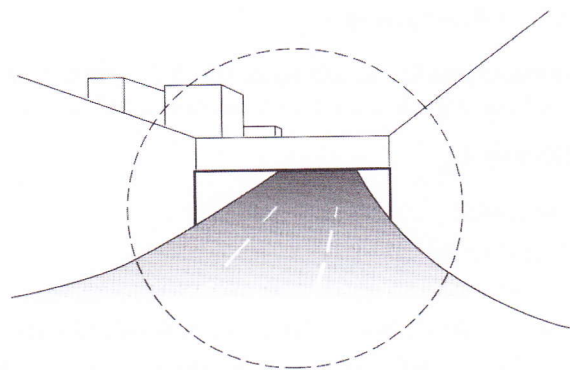
Vjezd	L_C	L_R	L_E [kcd.m^{-2}]			
(směr jízdy)	1 000 [cd.m^{-2}]	1 000 [cd.m^{-2}]	Skály	budovy	sníh	louky
jižní (od jihu)	8	3	3	8	15 (V) 15 (H)	2
východní (od východu) západní (od západu)	12	4	2	6	10 (V) 15 (H)	2
severní (od severu)	16	5	1	4	5 (V) 15 (H)	2

Tab. A 3-2: Hodnoty jasu L_C , L_R a L_E

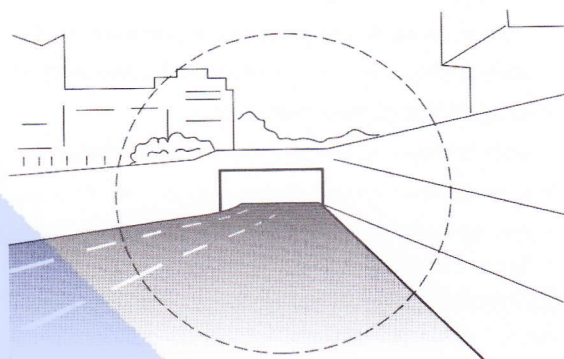
K odhadu procentního podílu viditelné oblohy, který ovlivňuje velikost jasu L_{20} , se doporučuje pořídit fotografii ze vzdálenosti rovné celkové brzdné dráze před vjezdem do tunelu. Není-li tunel ještě postaven, lze fotografii použít za předpokladu, že obrys horizontu nebude stavbou tunelu změněn. Jinak se dá použít náčrt nakreslený v měřítku. Pořízenou fotografii nebo náčrt je pak možno porovnat s náčrtu na obr. A 3-1 až obr. A 3-8 a stanovit podíl oblohy. V případě potřeby je možno jas L_{20} získat interpolací v tab. A 3-1.

Hodnoty jasu L_{20} získané z tab. A 3-2 jsou pouze velmi přibližné. Jejich použití se doporučuje pouze tam, kde jsou k dispozici jen velmi omezené informace o vjezdu do tunelu.

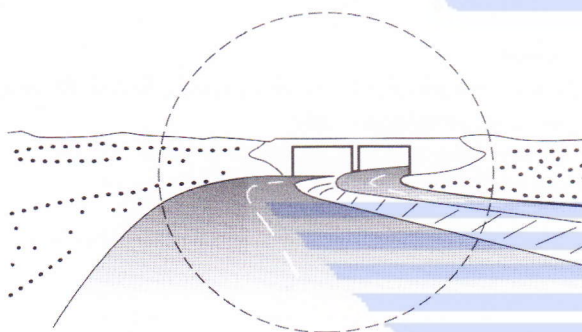
Druhou metodu určení hodnoty L_{20} (podle čl. A 3.1.2) je možno použít jen v případě, že jsou k dispozici dostatečné údaje o vjezdu do tunelu. V praxi lze první stupeň dokumentace (studie, DÚR) provést s použitím první metody a ve vyšších stupních dokumentace (DSP, DZS), kdy je k dispozici více podrobností, postupovat podle druhé metody.



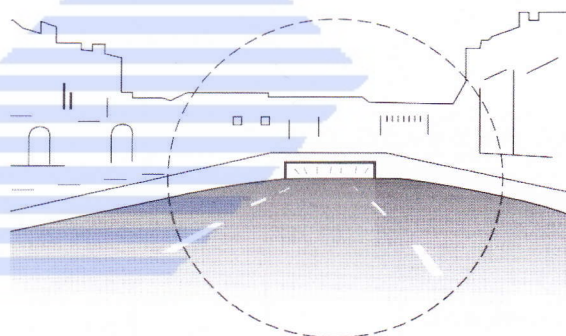
Obr. A 3-3: Brzdná vzdálenost 60 m, obloha 14 %



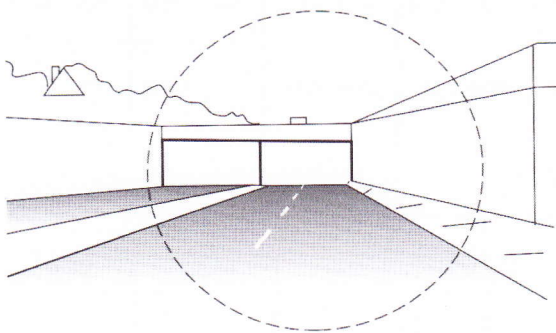
Obr. A 3-4: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 18 %



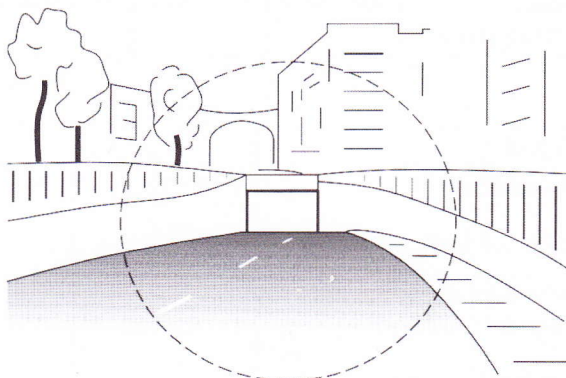
Obr. A 3-1: Brzdná vzdálenost 160 m, obloha 35 %



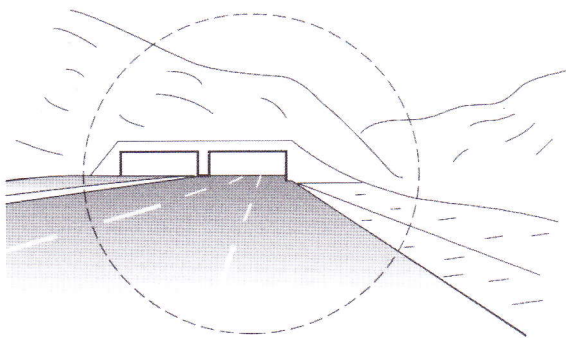
Obr. A 3-5: Brzdná vzdálenost 160 m, obloha 14 %



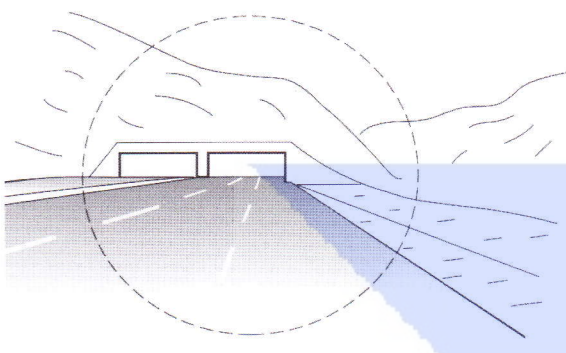
Obr. A 3-2: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 27 %



Obr. A 3-6: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 3 %



Obr. A 3-7: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 18 %



Obr. A 3-8: Brzdná vzdálenost 100 m, obloha 4 %

A 3.2 Jas prahového pásma L_{th}

A 3.2.1 Vliv rozměrů tunelu

Obecně řečeno tunel nevyžaduje v denní době umělé osvětlení, jestliže výjezdní otvor zaujímá při pozorování ze vzdálenosti rovné celkové brzdné dráze před výjezdem do tunelu velkou část zorného pole.

Naopak tunel ve dne potřebuje umělé osvětlení, jestliže při pohledu ze stejného místa tvoří vnitřní plochy tunelu tmavý rámec, v němž se mohou skrývat překážky, např. vozidla. Toto nebezpečí je velké zvláště v následujících třech případech:

- 1) Jedná-li se o dlouhý tunel,
- 2) Vyskytují-li se v tunelu překážky menší než vozidla, např. cyklisté nebo chodci,
- 3) Není-li z referenčního místa před tunelem ve vzdálenosti rovné celkové brzdné dráze viditelný výjezd (vlivem směrových nebo výškových oblouků komunikací).

Nicméně krátký tunel, u něhož není výjezd zcela viditelný, může být dostatečně osvětlen i bez umělého osvětlení v případě, že stupeň vnikání denního světla je vysoký.

Do tunelu o velkém průřezu s výjezdem orientovaným k jihu, ústícím do volného prostoru v ploché krajině nebo jestliže komunikace za tunelem klesá, vniká velké množství denního světla. Naproti tomu vnikání denního světla bude velmi nedostatečné v případě, že tunel ústí do jakéhosi úvozu tvořeného vysokými budovami, svahy nebo náspy, jestliže komunikace za výjezdem stoupá nebo je-li výjezd orientován k severu. Viditelnost však může být značně omezena nízkou odrazností stěn tunelu i v případě dobrého vnikání denního světla. Při vyšších objemech dopravy se zvyšuje riziko zakrývání světlého pozadí velkými motorovými vozidly a tím stoupá i riziko nedostatečné viditelnosti, není-li v tunelu instalováno umělé osvětlení.

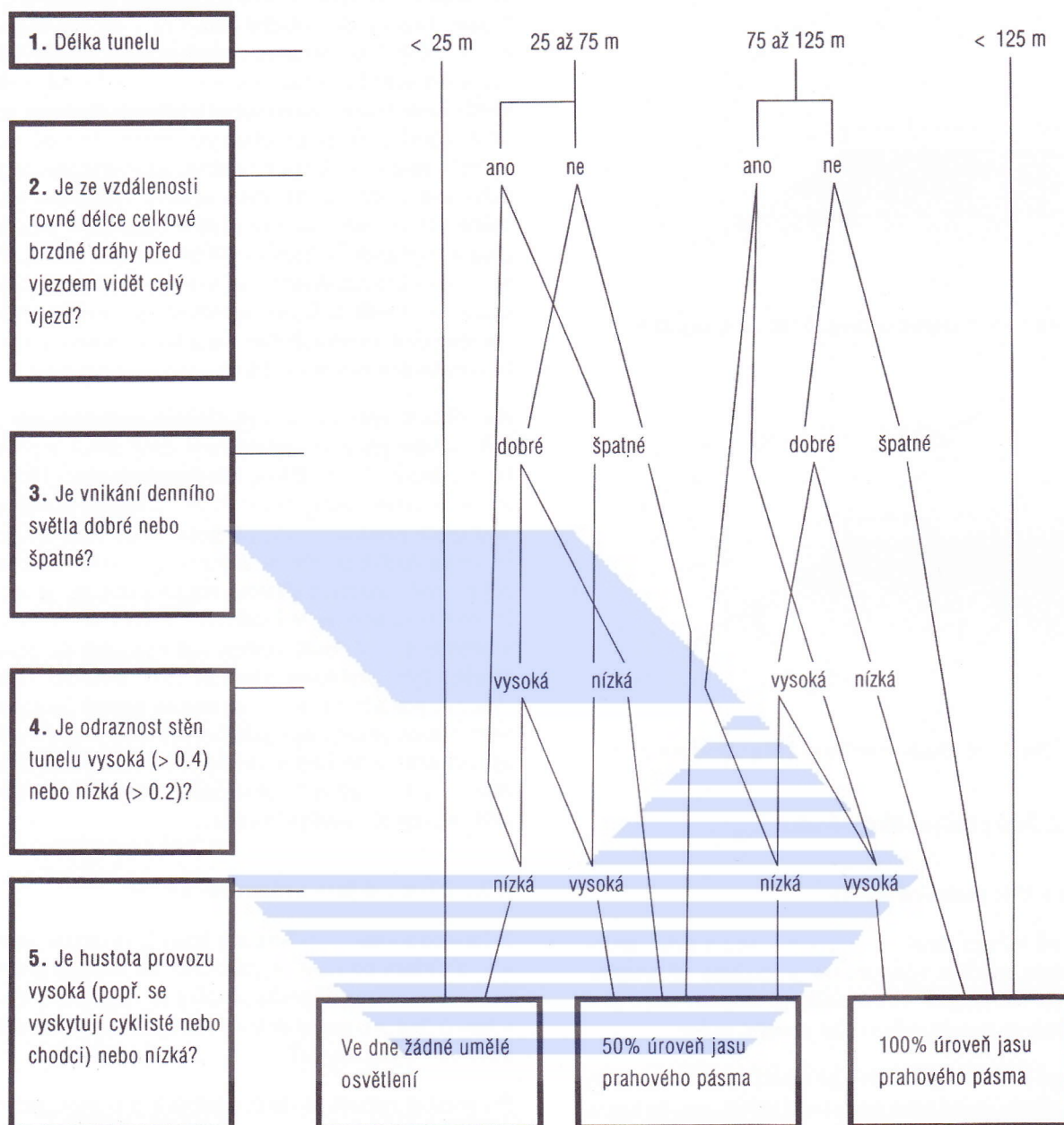
Na základě výše uvedených činitelů poskytuje tab. A 3-3 vodičko při rozhodování, zda daný tunel nepotřebuje žádné umělé osvětlení, zda potřebuje plné (100 %) umělé osvětlení nebo zda stačí 50 % tohoto osvětlení. V případě nerozhodnosti, při posuzování jednotlivých kritérií krátkých tunelů, se doporučuje přiklonění k nepříznivější variantě, vedoucí k větším nárokům na umělé osvětlení, protože v krátkých tunelech se vyskytují problémy s viditelností častěji, než v případě dlouhých tunelů. Tyto problémy vznikají díky adaptaci (zrak řidiče se nemůže adaptovat na nízkou úroveň jasu tmavého rámce, protože se v jeho zorném poli nachází celý výjezd nebo jeho část s vysokým jasnem). Následující články A 3.2.2 až A 3.2.4 uvádějí požadavky na plné (100 %) umělé osvětlení ve dne.

A 3.2.2 Úroveň jasu prahového pásma

Průměrná a minimální hodnota jasu L_{th} , (v daném místě a v závislosti na čase) vyžadovaná na začátku prahového pásma, se určí podle poměrů L_{th}/L_{20} , uvedených v tab. A 3-4 pro různé délky celkových brzdných drah a pro různé poměry L/E_v .

Při použití nižších hodnot, platných pro protisměrné osvětlení, je nutno postupovat opatrně. Jejich použitím může dojít k většímu nebezpečí vzniku efektu černé díry, než při použití hodnot pro symetrické osvětlení. Na druhou stranu, protisměrné osvětlení vytváří větší kontrast mezi malými předměty a pozadím tvořeným povrchem vozovky. Proto se při nižších hodnotách jasu dosáhne lepší viditelnosti a přítomnost překážek může být zjištěna ještě dříve než dojde k úplné adaptaci zraku.

Při délkách celkové brzdné dráhy pohybujících se mezi hodnotami uvedenými v tab. A 3-4 lze použít lineární interpolace. Umělé osvětlení tunelů ve dne v závislosti na jejich délce:

Tab. A 3-3: Poměry L_{th}/L_{20} Doporučené poměry jasu prahového a příjezdového pásma, $k = L_{th}/L_{20}$

	Symetrické osvětlení ($L/E_v \leq 0,2$)	Protisměrné osvětlení ($L/E_v \geq 0,6$)
Celková brzdná dráha	L_{th}/L_{20}	L_{th}/L_{20}
60m	0,05	0,04
100m	0,06	0,05
160m	0,10	0,07

Tab. A 3-4: Doporučené poměry jasu prahového a příjezdového pásma

Poznámka k tab. A 3-3: V tunelech dlouhých 25 až 75 m, které podle tab. A 3-3 ve dne nepotřebují umělé osvětlení, by mělo být alespoň 1 h před západem slunce a 1 h po východu slunce zajištěno osvětlení předepsané ve čl. A 3.4.

Poznámka:

- 1) Osvětlovací soustavy s poměrem L/E_v mezi hodnotami 0,2 a 0,6 se vyskytují výjimečně. V těchto případech se použijí hodnoty L_{th}/L_{20} doporučené pro symetrické osvětlení.
- 2) V případě protisměrného osvětlení mohou být doporučené hodnoty L_{th}/L_{20} sníženy na 75 %, jsou-li splněny všechny následující předpoklady:
 - v tunelových troubách je jednosměrný provoz,
 - nemíchá se pomalá a rychlá doprava,
 - v příjezdovém, prahovém ani přechodovém pásmu není dovolena změna jízdního pruhu,
 - v tunelu není dovoleno zastavit,
 - nízký objem dopravy (méně než 100 vozidel za hodinu),
 - tunel je přímý.
- 3) Jsou-li v prahovém pásmu použity žaluzie nebo sluneční clony, doporučuje se vždy použít hodnoty L_{th}/L_{20} platné pro symetrické osvětlení.
- 4) V praxi lze celkovou brzdňou dráhu určit jako délku rozhledu pro zastavení podle tab. 9 ČSN 73 6101 „Projektování silnic a dálnic“, nebo podle tab. 8 ČSN 73 6110 „Projektování místních komunikací“.

A 3.2.3 Délka prahového pásma

Délka prahového pásma musí být nejméně rovna celkové brzdňé dráze. V první polovině jeho délky je požadován konstantní jas L_{th} , jako na začátku prahového pásma. Od poloviny délky má jas postupně klesat až na hodnotu 0,4 L_{th} na konci prahového pásma, obr. A 3-9. Toto snižování může být větší než 3:1 (viz kap. 4.5) a úroveň jasu by nikdy neměla klesnout pod hranici vymezenou křivkou poklesu.

A 3.2.4 Jas stěn

Průměrný jas stěn tunelu, až do výšky 2 m, by neměl být nižší, než průměrný jas povrchu vozovky.

A 3.3 Jas přechodového pásma L_{tr}

V přechodovém pásmu jas postupně klesá z úrovně jasu na konci prahového pásma na úroveň jasu vnitřního pásma tunelu.

Doporučený pokles jasu podél osy tunelu je znázorněn na obr. A 3-9. Tento pokles může být stupňovitý, přičemž poměr jasu sousedních stupňů by neměl být větší než 3:1.

A 3.3.1 Délka přechodového pásma

Doporučené délky přechodového pásma jsou uvedeny na obr. A 3-9. Konec přechodového pásma leží v místě poklesu jasu na hodnotu trojnásobku jasu vnitřního pásma.

A 3.4 Jas vnitřního pásma L_{in}

Místně průměrná a časově minimální hodnota jasu povrchu vozovky vnitřního pásma tunelu L_{in} má nabývat velikostí uvedených v tab. A 3-5, v závislosti na délce celkové brzdňé dráhy a intenzitě dopravního proudu. Doporučený jas povrchu vozovky L_{in} [cd.m^{-2}].

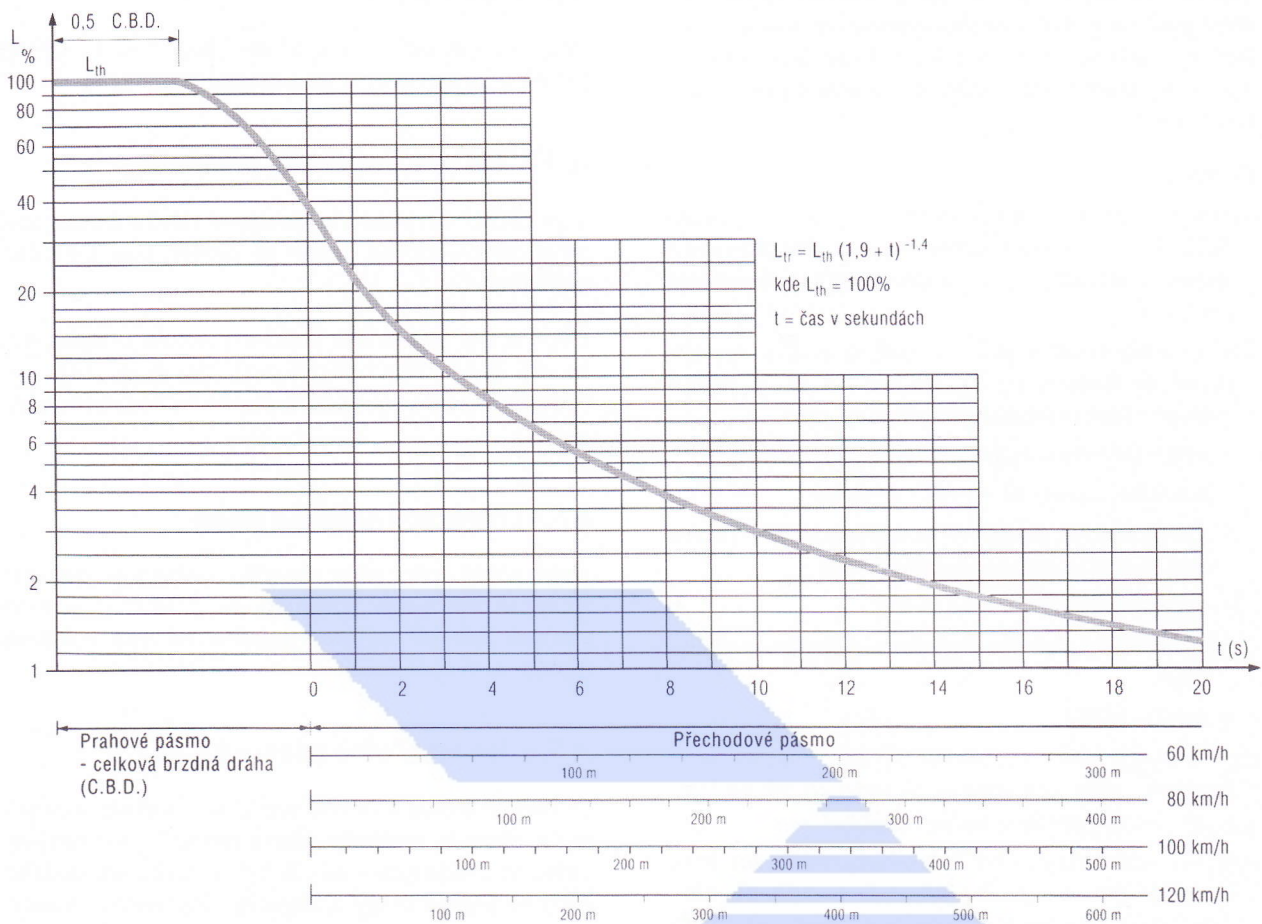
A 3.5 Jas výjezdového pásma L_{ex}

Ve výjezdovém pásmu tunelu je adaptace zraku na vyšší okolní jas rychlá. Proto zde obvykle není potřeba žádné zvláštní přisvětlování a vyhoví osvětlení doporučené pro vnitřní pásmo tunelu.

Za nepříznivých okolností (např. v jednosměrném tunelu s velmi silnou intenzitou dopravního proudu a nízkou odrazností stěn a stropu) se doporučuje zajistit v úseku posledních nejméně 60 m tunelu jas v úrovni až asi pětinásobku hodnoty ve vnitřním pásmu.

Vnitřní zóna – Doporučený průměrný jas na vozovce [cd.m^{-2}]			
Brzdňá vzdálenost [m]	Provoz		
	Malý $\leq 100 \text{ voz.h}^{-1}$	Střední $100 \text{ až } 1\,000 \text{ voz.h}^{-1}$	Vysoký $\geq 1\,000 \text{ voz.h}^{-1}$
160	5	10	15
100	2	4	6
60	1	2	3

Tab. A 3-5: Minimální hodnota jasu povrchu vozovky vnitřního pásma



Obr. A 3-9: Doporučený průběh jasu v prahovém a přechodovém pásmu

Příloha B – Výpočet množství přiváděného vzduchu

B 1 Potřeba přiváděného vzduchu

Hlavní škodliviny, kterými jsou oxid uhelnatý a kouřové zplodiny produkované vznětovými motory, je nutno „zředit“ na přijatelnou hodnotu čerstvě přiváděným vzduchem. Základním časovým údajem pro stanovení množství škodlivin produkovaných automobily je rok otevření tunelu a rok, kdy vstoupí v platnost hodnoty přípustných emisí nově vyrobených automobilů na úrovni Evropského společenství. Výsledná emise je závislá na obou časových údajích a na rychlosti obnovy vozového parku.

B 1.1 Oxid uhelnatý

Množství emisí CO

$$E_{CO} [m^3 \cdot s^{-1}] = [(1 - \%NV/100) \frac{e_{ov,co}}{v_{ov}} + (\%NV/100 \frac{e_{nv,co}}{v_{nv}})] M \frac{L_T}{3600}$$

kde:

- $\%NV$ procentní podíl NV
- $e_{ov,co}$ emise CO os. vozidel [$m^3 \cdot h^{-1} \cdot ov^{-1}$]
- $e_{nv,co}$ emise CO nákl. vozidel [$m^3 \cdot h^{-1} \cdot nv^{-1}$]
- v_{ov} rychlost os. vozidel [$km \cdot h^{-1}$]
- v_{nv} rychlost nákl. vozidel [$km \cdot h^{-1}$]
- L_T délka tunelu [km]

Nutné množství přiváděného vzduchu pro ředění zplodin CO.

$$Q_{FL,CO} = E_{CO}/C_{lim,CO} \cdot 10^6 [m^3 \cdot s^{-1}]$$

kde:

- $C_{lim,CO}$ limitní koncentrace škodlivin CO [ppm], tab. 5.23

B 1.2 Zplodiny dieselových motorů – opacita

Zakouřenost tunelu je dána hlavně černým naftovým kouřem především z dieselových motorů. Světelný paprsek procházející ovzduším s výfukovými plyny je utlumován. Hodnotu útlumu lze stanovit ze vztahu.

$$E = E_0 \cdot e^{-Kl}$$

kde

- E úroveň světelného paprsku po průchodu [$m^2 \cdot s^{-1}$]
- E_0 vstupní úroveň paprsku
- K koeficient opacit [1.m⁻¹]
- l délka měřené trasy [m]

Celková emise škodlivin snižujících viditelnost v tunelu:

$$E_Z [m^2 \cdot s^{-1}] = [(1 - \%NV/100) \frac{e_{ov,z}}{v_{ov}} + (\%NV/100 \frac{e_{nv,z}}{v_{nv}})] M \frac{L_T}{3600}$$

kde:

- $\%NV$ procentní podíl NV
- $e_{ov,z}$ emise kouřivosti os. vozidel [$m^2 \cdot h^{-1} \cdot ov^{-1}$]
- $e_{nv,z}$ emise kouřivosti nákl. vozidel [$m^2 \cdot h^{-1} \cdot nv^{-1}$]
- v_{ov} rychlost os. vozidel [$km \cdot h^{-1}$]
- v_{nv} rychlost nákl. vozidel [$km \cdot h^{-1}$]
- L_T délka tunelu [km]

Nutné množství přiváděného vzduchu pro ředění zplodin způsobujících opacitu:

$$Q_{FL,Z} = \frac{E_Z}{k_{lim,z}} [m^3 \cdot s^{-1}]$$

kde:

- $k_{lim,z}$ [m^{-1}], tab. 5.23

Potřebné množství čerstvého vzduchu je:

$$Q_{FL} = \max(Q_{FL,CO}, Q_{FL,Z}) [m^3 \cdot s^{-1}]$$

B 1.3 Meteorologické podmínky

Ve výpočtu nutno respektovat následující meteorologické vlivy:

- změny barometrického tlaku na portálech dlouhých horských tunelů,
- působení dynamického tlaku větru na portály. Vychází se z větrné růžice průměrných celoročních hodnot rychlosti proudění vzduchu v místě portálu,
- vztlak způsobený o 5 K teplejším vzduchem v tunelovém systému (jízdni prostor, šachty) nutno započítat.

B 1.4 Vliv pístového účinku vozidel

U jednosměrných, podélně větraných tunelů je nutné uvažovat při výpočtech s vlivem pístového účinku vozidel projíždějících tunelem.

Výpočet pístového účinku vozidel – tažná síla N_{VOZ} [N]

$$N_{VOZ} = M_{OV}(c_w F)_{OV}(v_{ov} \pm v_t)^2 + M_{NV}(c_w F)_{NV}(v_{nv} \pm v_t)^2$$

Znaménko + pro rychlost proudění vzduchu v tunelu proti směru jízdy vozidel.

Znaménko – pro rychlost proudění vzduchu v tunelu ve směru jízdy vozidel

Tlakový odpor v tunelové troubě vlivem proudění vzduchu – síla N_T [N]

$$N_T = F_T \frac{\xi}{2} (v_{ov} \pm v_i)^2$$

$$\xi_T = \xi_e + \xi_a + \lambda \frac{L_T}{D}$$

$$D = \frac{4F_T}{U} \text{ (m) hydraulický průřez tunelu}$$

U – obvod příčného řezu tunelu [m]

B 2 Výpočtové hodnoty větrání

L_T délka tunelu [km]

F_T příčný průřez tunelu [m²]

M_{OV} počet os. automobilů v tunelu v jednom směru

M_{NV} počet nákl. automobilů v tunelu v jednom směru

v_T rychlost proudění vzduchu v tunelu [m.s⁻¹]

v_{ov} rychlost osobních vozidel v tunelu [m.s⁻¹]

v_{nv} rychlost nákladních vozidel v tunelu [m.s⁻¹]

v_W rychlost proudění větru na portále tunelu [m.s⁻¹]

Měrná hmotnost vzduchu v závislosti na nadmořské výšce H [m]

$$\rho_L = 1,22 - 1,08 \cdot 10^{-4} H \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$$

Aerodynamický součinitel vynásobený čelní plochou průměrného vozidla:

$$(C_W \cdot F)_{OV} = 0,9 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$(C_W \cdot F)_{NV} = 5,0 \text{ [m}^2\text{]}$$

Součinitel tlakové ztráty na vstupu do tunelu

$$\zeta_e = 0,6$$

Součinitel tlakové ztráty na výstupu z tunelu

$$\zeta_a = 1,0$$

Součinitel tření tunelové trouby – je závislý na drsnosti tunelu (záleží na drsnosti obkladového materiálu) a rychlosti proudění vzduchu:

$$\lambda = 0,015$$

Tlakový spád v tunelu přirozený

$$\Delta p_{nat.} = (\rho_a - \rho_i) g \cdot L_T \cdot LN/100 \text{ [Pa]}$$

Tlakový spád v tunelu při požáru

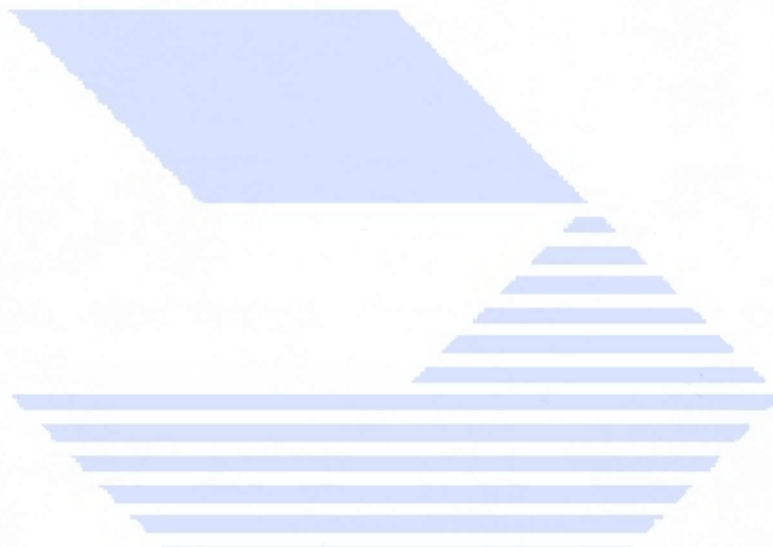
$$\Delta p_{pož.} = (\rho_i - \rho_{pož.}) \cdot \eta_{pož.} \cdot g \cdot L_{POŽ.} \cdot LN_{POŽ.}/100 \text{ [Pa]}$$

přičemž:

ρ_a	měrná hmotnost vzduchu – venkovní [kg.m ⁻³]
ρ_i	měrná hmotnost vzduchu – v tunelu před požárem [kg.m ⁻³]
$\rho_{pož.}$	měrná hmotnost vzduchu – v tunelu ve vzdálenosti $L_{POŽ.}$ [kg.m ⁻³]
g	tíhové zrychlení 9,81 [m.s ⁻²]
L_T	délka tunelu [m]
$L_{POŽ.}$	vzdálenost při požáru se zvýšenou teplotou [m]
L_N	střední sklon tunelové trouby [%]
$LN_{POŽ.}$	střední sklon tunelové trouby v délce $L_{POŽ.}$ [%]
p_a	barometrický tlak [Pa]
R	plynová konstanta vzduchu 286,7 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
T_a	absolutní teplota venkovního vzduchu [K]
T_i	střední absolutní teplota v tunelu před požárem [K]
$T_{pož.}$	střední absolutní teplota ve vzdálenosti $L_{POŽ.}$ [K]
$\eta_{pož.}$	účinnost vztaku při požáru [-]
ρ_a	atmosférický tlak [Pa]

	Normový požár	
	5 MW	30 MW
$\Delta T_{pož.}$ – bez odsávání kouře	25 K	65 K
$\Delta T_{pož.}$ – s odsáváním kouře	20 K	40 K
$L_{pož.}$	400 m	800 m
$\eta_{pož.}$	0,85	0,75
Doba náběhu	7 min.	10 min.

Tab. B 1-1: Hodnoty pro určení vztaku při požáru podle lit. [11]



Název: Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací; Technické podmínky
Vydal: MD ČR - OPK
Zpracovatel: ELTODO EG, a.s., Prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.
Vydání: třetí, upravené
Náklad: 400 ks
Počet stran: 106
Formát: A4
ISBN: 80-239-0110-9
Distribuce: ELTODO EG, a.s., Novodvorská 1010/14, 142 01 Praha 4

Grafická úprava: Libor Samec
Zlom a technická redakce: Monika Samcová
Tisk: Pavel Dojáček – TISKAP